

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Отделение/НОЦ Электроэнергетика и электротехника

Направление подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Профиль Электропривод и системы управления электроприводами

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Автоматизированный электропривод механизма дросселирования метаноугольной скважины

УДК 62-83-523:622.33:622.411.33

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6Ж	Серебряков Дмитрий Игоревич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры электропривода и электрооборудования	Однокопылов Иван Георгиевич	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально – гуманитарных наук	Фигурко Аркадий Альбертович	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения контроля и диагностики	Амелькович Юлия Александровна	к.т.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Отделение электроэнергетики и электротехники	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор, руководитель ОЭЭ	Дементьев Юрий Николаевич	к.т.н., доцент		

Томск – 2018 г.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Отделение/НОЦ Электроэнергетика и электротехника

Направление подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Профиль Электроприводы и системы управления электроприводами

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
5АМ6Ж	Серебрякову Дмитрию Игоревичу

Автоматизированный электропривод механизма дросселирования метаноугольной скважины

Утверждена приказом руководителя ИШЭ
(дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:
(дата)

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</p>	<p>Механизм дросселирования скважины; Выполнить математическое моделирование регулятора; Разработать алгоритм управления системы: $D_y = 100 \text{ мм}$ $P_{\text{раб}} = 5 \text{ МПа}$ Разработать принципиальную схему.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования; содержательная, концептуальная, математическая структурная модель; разработка алгоритма решения задачи; выбор программного обеспечения; индивидуальные; дополнительные разделы, подлежащие разработке; заключение по работе).</p>	<p>Теоретические сведения о способах дросселирования скважин; Математическая модель регулятора давления; Моделирование схемы в среде MATLAB Simulink; Разработка алгоритма управления системы.</p>
<p>Перечень графического материала</p>	
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p>	

Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Фигурко Аркадий Альбертович, к.э.н., доцент
«Социальная ответственность»	Амелькович Юлия Александровна, к.т.н., доцент
«Английский язык»	Соколова Эльвира Яковлевна, старший преподаватель

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения электроэнергетики и электротехники	Однокопылов Иван Георгиевич	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6Ж	Серебряков Дмитрий Игоревич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИИ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5АМ6Ж	Серебрякову Дмитрию Игоревичу

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Тарифная ставка НТР - 300 руб.ч., Оклад инженера - 17000 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Накладные расходы – 16 %
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Внебюджетные отчисления – 30 %
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Планирование работ и их временных оценок
2. Разработка устава научно-технического проекта	Смета затрат на проектирование
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Анализ полученных результатов

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально – гуманитарных наук	Фигурко Аркадий Альбертович	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6Ж	Серебряков Дмитрий Игоревич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5АМ6Ж	Серебрякову Дмитрию Игоревичу

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.

Объектом исследования является разработка системы управления электрическим приводом механизма дросселирования на метаноугольной скважине. Данный математический аппарат может использоваться в технологической деятельности нефтедобывающих компаний.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность

1.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:

- физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;
- действие фактора на организм человека;
- приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);

• предлагаемые средства защиты;

• (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).

1.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:

- механические опасности (источники, средства защиты);
- термические опасности (источники, средства защиты);
- электроопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);
- пожаровзрывоопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

Воздействие на оператора физических факторов, таких как, повышенные уровни электромагнитного излучения; статического электричества и запыленности воздуха рабочей зоны; неравномерность распределения яркости в поле зрения; повышенная яркость светового изображения. Опасность поражения электрическим током.

<p>2. Экологическая безопасность</p> <ul style="list-style-type: none"> • защита селитебной зоны • анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); • анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); • анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); • разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p>Обращение с отходами:</p> <p>В случае аварий возможны выбросы различных загрязнителей, которые оказывают негативные воздействия на окружающую среду – атмосферу, гидросферу, литосферу.</p>
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> • перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; • выбор наиболее типичной ЧС; <p>разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</p> <ul style="list-style-type: none"> • разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<p>Наиболее распространенным ЧС на объекте является возгорание в следствие аварий в электрических цепях.</p> <p>Основными мероприятиями являются установка заземлителей, наличие плана эвакуации на месте работы оператора.</p> <p>Разработаны мероприятия по предупреждению возгораний (п2.1) и электропоражений (п.2.2) и мер по ликвидации их последствий.</p>
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> • специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; • организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>Были рассмотрены специальные правовые нормы трудового законодательства и организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения контроля и диагностики	Амелькович Юлия Александровна	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6Ж	Серебряков Дмитрий Игоревич		

Реферат

Магистерская диссертация содержит 142 страниц текста, 37 рисунков, 35 таблиц, 22 использованного источника, 1 приложение. Ключевые слова: асинхронный электропривод, дросселирование, процесс поддержания, затрубное давление. Сокращения: ЗА – запорный аппарат АД – асинхронный двигатель; КПД – коэффициент полезного действия; ПЧ – преобразователь частоты. В первой главе приведены обзор методов дросселирования скважин, сравнительный анализ схем реализации, выбор способа регулирования дросселированием. Во второй главе произведен расчет и выбор оборудования, выбор двигателя и расчет параметров схемы замещения, построение характеристик и проверка на адекватность расчетов. Третья глава посвящена настройке контуров регулирования. В четвертой главе приведены результаты выбора оборудования. В пятой главе приведены результаты имитационного моделирования пуска АД, ПЧ-АД и процесса поддержания затрубного давления. Пояснительная записка магистерской диссертации выполнена в текстовом редакторе Microsoft Office Word 2007 с использованием пакетов MathCad 13, Microsoft Visio, Matlab.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	10
1. Технологический процесс.....	12
1.1 Обзор методов регулирования расхода газа.....	12
1.2 Схема реализации и их сравнительный анализ.....	15
1.3.Обоснование и выбор способа регулирования дросселированием.....	17
2.Расчет и выбор запорно-регулирующего оборудования. Требования, предъявляемые к электроприводу запорно-регулирующей арматуры.....	19
2.1 Механический расчет запорной арматуры.	
2.1.1 Расчет основных параметров.....	21
2.1.2 Расчет крутящего момента на ходовой гайке.....	27
2.2 Выбор двигателя.....	28
2.3 Схема замещения.....	29
2.4 Расчет параметров асинхронного двигателя.....	33
2.5 Проверка адекватности расчетных параметров двигателя.....	33
2.6 Расчет естественных характеристик электродвигателя.....	35
2.6.1 Расчет естественной механической характеристики.....	35
2.6.2 Расчет естественной электромеханической характеристики.....	37
2.7 Выбор и обоснование способа регулирования ЭП. Системы частотно-регулируемого асинхронного электропривода с векторным и скалярным управлением.....	39
2.8 Выбор преобразователя частоты	41
2.9 Выбор автоматического выключателя и пускателя	44
2.10 Структурная схема силового канала электропривода.....	46
2.11 Расчет характеристик разомкнутой системы ПЧ-АД и оценка выполнения заданной области работы электропривода.....	50
2.12 Механические и электромеханические характеристики при законе управления частотно-векторном управлении	55

3 Структурная схема САР ЭП и настройка контуров регулирования.....	56
3.1 Структурная схема линеаризованной САУ частотно-регулируемого асинхронного двигателя с векторным управлением.....	56
3.2 Оптимизация контура потокосцепления с ПИ-регулятором, аналоговым датчиком потока	58
4 Выбор оборудования системы автоматического регулирования процесса	59
5. Имитационное моделирование процесса нагнетания при проведении гидродинамических исследований	64
5.1.Имитационная модель ПЧ-АД (векторный закон управления), проверка адекватности.....	64
5.2.Общая схема из блоков Subsystem.....	71
5.3 Анализ работы модели газовой скважины, контуров скорости и положения.....	72
5.4 Динамические исследования процесса поддержания затрубного давления скважины.....	76
6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и Ресурсосбережение.....	78
6.1SWOT-анализ	78
6.2Планирование научно-исследовательской разработки.....	82
6.3Определение трудоёмкости выполнения проекторочных работ.....	84
6.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	89
6.5 Полная заработная плата исполнителей темы.....	90
6.6 Отчисления во внебюджетные фонды	92
7 Социальная ответственность.....	97
7.1Производственная безопасность.....	97
7.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды.....	105
7.2.1 Электроопасность.....	105

7.2.2 Защита от случайного прикосновения	107
7.2.3 Защитное заземление	108
7.3 Экологическая безопасность.....	108
7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	110
7.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	114
7.6 Организационные вопросы обеспечения безопасности.....	114
Заключение	117
Список использованной литературы.....	118
Приложение А.....	119

Введение

В недрах угольных бассейнов находится большая часть угольных ресурсов, в частности угольного метана, количество которого можно сравнить с ресурсами газа традиционных месторождений. Поэтому такие бассейны нужно изучать как метанугольные. Концентрация метана в угольном пласте может достигнуть 98%. Роль таких образований, как больших источников и мест скопления метана в коре и благодаря научно–обоснованной оценке раскрывает новые возможности в увеличении добычи углеводородных газов. Метан, являющийся опасным попутчиком угля, таким образом переходит в разряд ценных природных ископаемых, который подлежит разработке и попутной добыче в скважинах газоносных угольных месторождений в процессе комплексной эксплуатации.

Кузнецкий бассейн, как богатейшая угольная кладовая страны, один из наиболее изученных, освоенных и перспективных энергетических комплексов России, обладающий большим потенциалом и возможностью для реализации добычи метана. Наверняка можно сказать что Кузбасс является крупнейшим скоплением угольного метана в мире. Объем углей в бассейне оцениваются в 733 млрд. т до глубины 1,9км (–1600 м абс.отм.), разведанные запасы (до глубины 700 м, абс.отм. – 400м), составляют 87 млрд.т. Главный объем прогнозируемых запасов углеводородного метана в Кузбассе (12 трлн.м³ до глубины 1,9км) связан с залежами метана в пластах, что позволяет говорить о перспективном для автономной реализации различными добывающими способами на действующих скважинах для добычи сопутствующего газа. Объем метана в угольных пластах составляет примерно 14% от мирового и около 6% от привычных месторождений газа в России. Разработка метанугольных бассейнов с целью широкомасштабной добычи метана определяется геологической моделью и тектоническими особенностями. Существующая в Кузбассе инфраструктурные особенности благоприятны для мероприятий в данной отрасли добычи метана из угольных пластов.

Главным технологическим фактором, который требует внимательного контроля при проведении добычи, является затрубное давление в скважине. На данный момент имеющиеся методы контроля этого параметра во время производства работ подразумевают должность оператора, который на протяжении всего своего рабочего времени обязан поддерживать определенное давление в затрубном пространстве скважины.

Для автоматизации процесса поддержания давления были разработаны схемы с применением регулируемого электропривода, позволяющие существенно автоматизировать данный процесс с высокой точностью. Целью данной работы является разработка системы автоматического поддержания затрубного давления метаноугольной скважины при добыче природного газа, которая должна обеспечивать в течение длительного времени необходимую величину технологической переменной при изменении дебита скважины. Новизна работы заключается в имитационном моделировании технологического процесса.

1. Технологический процесс

1.1 Обзор методов регулирования расхода газа.

Газовая арматура и оборудование предназначены для применения на трубопроводах систем транспортировки и снабжения, а также распределения природного газа. При помощи этих устройств и механизмов осуществляют включение и отключение подачи, изменение количества, направления или давления газового потока. Вся арматура характеризуется следующими главными параметрами:

- номинальным (условным) давлением;
- номинальным диаметром (условным проходом).

Под первым понимают максимальное давление при температуре 20 °С, обеспечивающее длительную службу различных соединений арматуры (оборудования) и трубопровода. Под условным проходом (Ду или DN) понимают характеристику, используемую в трубопроводных системах, сетях в качестве параметра соединяемых частей.

По назначению арматуру для газовых систем делят на следующие виды:

-Арматура запорная – для периодических отключений аппаратуры и приборов, а также отдельных участков газового трубопровода от других его частей. В этом качестве используют вентили, краны и задвижки.

-Регулирующая – для изменения и поддержания давления в заданных пределах. К ней относят заслонки, шиберы, клеточные, игольчатые клапаны и тому подобное.

-Предохранительная – используется для предупреждения повышения газового давления сверх допустимого значения. Это сбросной предохранительный клапан.

-Отсечная и аварийная – для быстрого автоматического отключения различных газовых аппаратов, приборов, а также трубопроводов, где нарушен заданный режим их работы. Например, запорно-предохранительный клапан.

-Обратного действия – предотвращает движение газового потока в обратном направлении.

С помощью регулирующей арматуры один или несколько параметров технологического процесса производства поддерживаются в требуемых пределах. Регулирование может быть ручное или автоматическое. При ручном регулировании изменение степени открытия арматуры производится оператором по результатам показаний измерительных приборов. При автоматическом регулировании параметры поддерживаются в нужных пределах путем автоматического управления арматурой, снабженной соответствующими приводами. Система автоматического регулирования состоит из объекта регулирования и присоединенного к нему автоматического регулятора. Автоматический регулятор состоит из измерительной и регулирующей систем. В измерительную систему входят: первичный элемент (поплавок, тер- мопара, мембрана и т. д.), показывающее или регистрирующее устройство и передаточная связь. Регулирующая система состоит из регулирующего устройства, исполни- тельного механизма и исполнительной связи, соединяющей регулирующее устройство и исполнительный механизм. Исполнительный механизм в арматуре представляет собой дроссельное устройство, снабженное приводом, который может быть электрическим, электромагнитным, пневматическим, гидравлическим и т. д. По роду действия регуляторы бывают прерывного и непрерывного действия. В регуляторах прерывного действия регулирующий орган перемещается периодически, через некоторые промежутки времени, при достижении определенных значений регулируемого параметра, изменяющегося непрерывно. В регуляторах непрерывного действия регулирующий орган перемещается непрерывно при непрерывном изменении регулируемого параметра. В трубопроводных системах в качестве регулирующего органа наиболее часто применяются

регулирующие клапаны. Регулирующие клапаны, которые используются на больших перепадах давлений, называются дроссельными. Регулирующий клапан представляет собой дроссельное устройство с регулируемым сечением отверстия для прохода среды. Управление регулирующим клапаном может производиться непосредственным действием среды, транспортируемой по данному трубопроводу, либо от постороннего источника энергии. В регулирующих клапанах, управляемых действием среды на привод плунжера, положение плунжера будет определяться соотношением сил, передаваемых на плунжер со стороны привода, и сил, действующих от давления среды непосредственно на плунжер. Такие регулирующие клапаны действуют автономно, не требуют преобразования одного вида энергии в другой, имеют свой первичный (чувствительный) элемент и по существу являются регуляторами прямого действия. К регуляторам прямого действия относятся также регуляторы, предназначены для значительного понижения давления, называемые редукционными клапанами. Регуляторы давления обычно имеют тарельчатый плунжер и небольшой ход. В регулирующих клапанах, управляемых от постороннего источника энергии, связь давление расход разорвана и осуществляется по элементам давление - ход плунжера и ход плунжера - расход среды. В этих клапанах положение плунжера фиксируется приводом, действующим от постороннего источника энергии, управляемого чувствительным элементом, и не зависит или мало зависит от непосредственного воздействия давления транспортируемой среды по данному трубопроводу на привод и плунжер. К этой группе относятся регулирующие клапаны с пневматическим, гидравлическим и электрическим приводами, смесительные клапаны и некоторые другие. Регулирующие клапаны могут быть использованы для решения самых разнообразных задач автоматического регулирования давления, расхода, температуры, состава среды и пр., в зависимости от изменения тех или иных параметров различных звеньев технологического процесса или рабочего процесса машины. Регулирующие клапаны имеют обычно профилированный плунжер и значительный ход.[1]

1.2 Схема реализации и сравнительный анализ

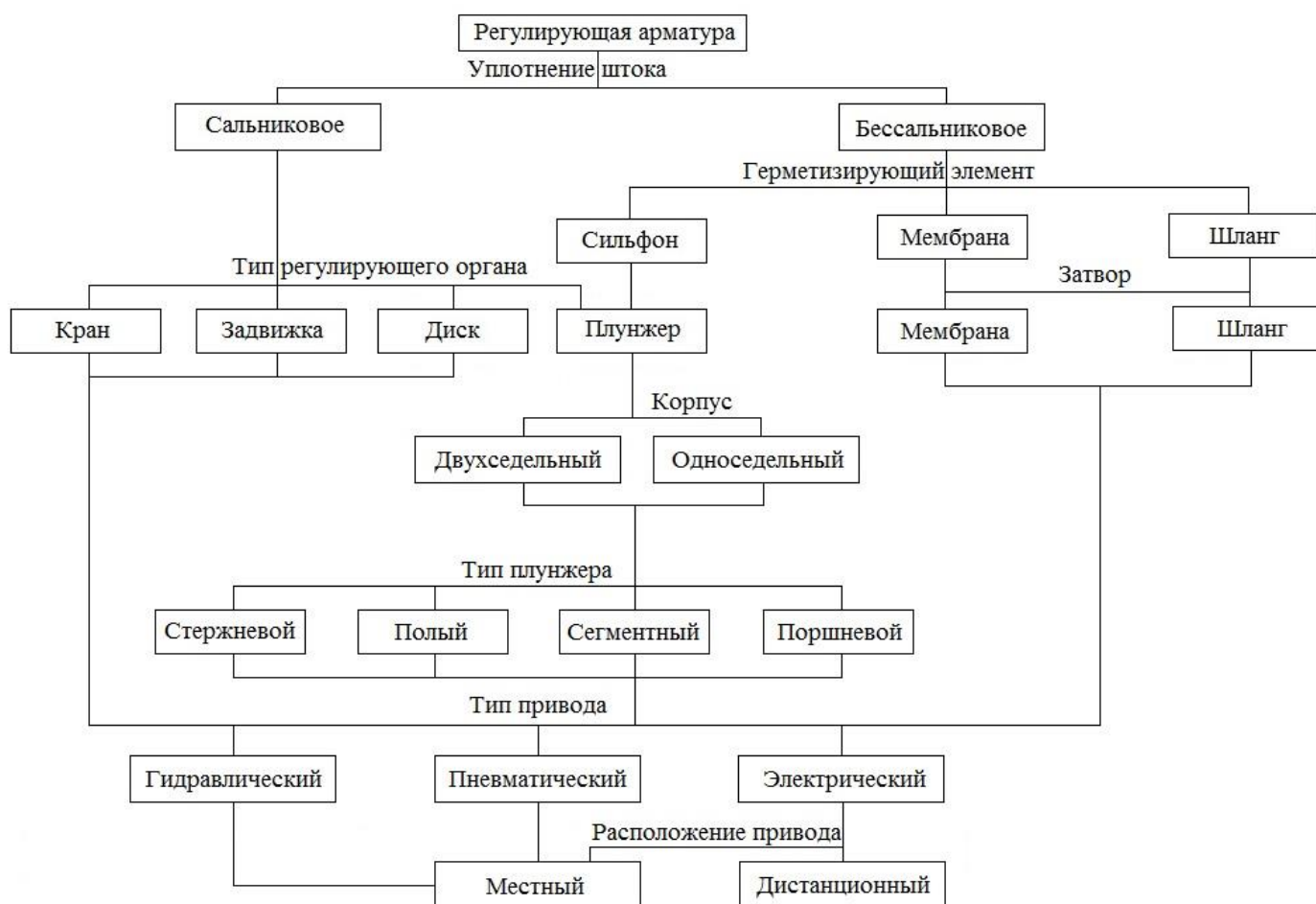


Рисунок 1- Классификация регулирующей арматуры[1]

На рис. 1 представлена классификация регулирующих клапанов, в которой отражены конструктивные особенности их основных частей.

Первый классификационный признак дает представление о способах уплотнения штока (шпинделя), позволяющий оценить уровень герметичности клапана.

Второй классификационный признак характеризует типы регулирующего (дросселирующего) органа, определяющего расходную характеристику клапана.

Третий классификационный признак определяет тип корпуса клапана, связанного с условиями разгруженности плунжера, его герметичностью.

Четвертый классификационный признак характеризует тип плунжера, определяющего способ регулирования расхода рабочей среды.

Пятый и шестой классификационные признаки свидетельствуют о типе привода и его расположении.

Конструктивно такие устройства реализованы по нескольким следующим основным схемам:

1. Односедельные и двухседельные. В таких клапанах подвижным элементом служит плунжер, который может быть игольчатым, стержневым или тарельчатым. Плунжер перемещается перпендикулярно оси потока среды через седло (или сёдла), изменяя проходное сечение. Наиболее часто встречаемые — двухседельные клапаны. Односедельные клапаны применяются чаще всего для небольших диаметров прохода из-за своего плунжера. Также преимущество двухседельных клапанов состоит в том, что такой конструкцией гораздо легче обеспечить требуемую для запорно-регулирующей арматуры герметичность с помощью плунжера, имеющего специальный регулирующий профиль для контакта с одним седлом, а для посадки в другое седло — уплотнительную поверхность для более плотного контакта.

2. Клеточные. Затвор клеточных клапанов выполняется в виде полого цилиндра, который перемещается внутри клетки, являющейся направляющим устройством и, одновременно, седлом в корпусе. В клетке имеются радиальные отверстия (перфорация), позволяющие регулировать расход среды. Ранее такие клапаны назывались поршневыми перфорированными. Клеточные клапаны за счёт своей конструкции позволяют снизить шум, вибрацию и кавитацию при работе арматуры.

3. Мембранные. В клапанах этого типа используются встроенные или вынесенные мембранные пневмо- или гидроприводы. В случае встроенного привода расход рабочей среды напрямую изменяется за счёт перекрытия прохода в седле гибкой мембраной из резины, фторопласта или полиэтилена, на которую воздействует давление управляющей среды. Когда давление управляющей среды сбрасывается, пружина возвращает мембрану в начальное

положение. Мембранные клапаны могут быть как одно-, так и двухседельные. Основным достоинством таких клапанов является высокая герметичность подвижного соединения и коррозионная стойкость материалов, из которых изготавливаются мембраны, что позволяет обеспечить хорошую защиту внутренних поверхностей арматуры от воздействия рабочих сред, которые могут быть агрессивными.

4. Золотниковые. В этих устройствах регулирование расхода среды происходит при повороте золотника на необходимый угол, в отличие от других клапанов с поступательным движением штока или мембраны. Такие клапаны применяются, как правило, в энергетике и имеют альтернативное название «регулирующий кран», так как по принципу действия принадлежат к кранам.

1.3.Обоснование и выбор способа регулирования дросселированием.

В рассматриваемом случае в качестве рабочей среды представлен природный газ, что позволяет использовать в качестве регулирующего механизма клеточный регулирующий клапан. Перфорированный (клеточный) плунжер выполнен в виде полого цилиндра, имеющего большое число отверстий на боковой поверхности, и применяется, в основном, для чистых рабочих сред при больших перепадах давления на запорном органе.

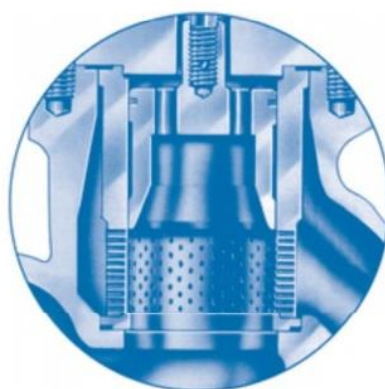


Рис. 2- Внутреннее устройство клеточного запорного органа

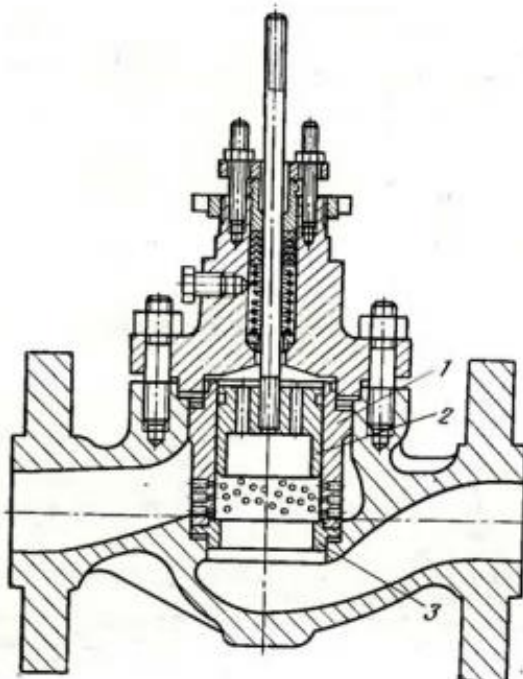


Рис. 3- Клеточный регулирующий клапан

На рис. 3 изображен клеточный клапан клеточного типа, предназначенный для регулирования потоков жидкости и газа. Основные детали клапана - клетка 1, затвор 2 и седло 3. Клетка содержит определенное число небольших отверстий, попарно расположенных диаметрально противоположно друг другу. При перемещении затвора 2 изменяется число пар этих отверстий, благодаря чему изменяется расход. Следует отметить, что цилиндрические отверстия в клетке имеют ступенчатую форму. Регулируемая среда проходит большую часть пути через отверстия сравнительно большого диаметра. По мере того, как газ приближается к внутренней стенке клетки, поток сужается и он продавливается через гораздо меньшее отверстие. Длина этого отверстия очень мала, что создает эффект, подобный соплу с острой кромкой. Благодаря ступенчатой конструкции отверстий в клетке сжатое сечение в клапане образуется по мере того, как газ удаляется от внутренней стенки клапана.

Клеточные регулирующие клапаны имеют следующие преимущества:

1. направление затвора осуществляется значительно большей поверхностью, чем в клапанах с верхней и нижней направляющими втулками, при этом направляющая поверхность приближена к проходному сечению;
2. клапан не содержит внутренних резьбовых соединений;
3. затвор клапана уравновешен, следовательно, клапан может работать при значительных перепадах давления среды и комплектоваться приводом небольшой мощности;
4. клапан хорошо выдерживает вибрацию.
5. плавное регулирование расхода проводимой среды на всем диапазоне условного прохода с контролем по шкале
6. наличие градуированной шкалы
7. регулирующие органы выполнены из износостойких и коррозионностойких материалов
8. восстановление герметичности манжетного уплотнения штока без остановки процесса добычи (подкачкой уплотнительной пастой)

2. Расчет и выбор запорно-регулирующего оборудования. Требования, предъявляемые к электроприводу запорно-регулирующей арматуры

С целью обеспечения надежной и длительной эксплуатации арматуры к приводам предъявляются следующие требования[4]:

1. Привод должен обеспечивать момент, гарантирующий надежную работу арматуры, но его величина не должна выходить за известные пределы прочности арматуры.

2. Должна обеспечиваться необходимая скорость перемещения шпинделя.

3. Конструкция привода должна предусматривать наличие ручного управления для использования в аварийных условиях при отсутствии электроэнергии. При ручном управлении помимо непосредственного управления маховиком используются так же передачи: зубчатые цилиндрические или конические, цепная и карданная для управления арматурой находящейся в труднодоступных местах, зубчатая и червячная для увеличения крутящего момента.

4. Электромагнитный момент синхронного двигателя должен быть достаточен для гарантированного получения герметичности уплотнения в затворе, а также гарантированного срыва затвора клапана из уплотненного состояния. Срыв возможно производить однократной кратковременной подачей импульса момента, не допускающего перемещения штока по резьбе больше того расстояния, при котором происходит переход упругой деформации в пластическую. Погрешность регулирования по моменту и дискретность задания величины момента ограничения определяются паспортными данными на арматуру с одинаковым посадочным местом под электропривод. Разброс значений (для момента уплотнения) составляет от 20 до 100% от максимального момента для электроприводов с единым типоразмером

посадочного места. Согласно анализу паспортных данных на арматуру, дискретность задания и погрешность регулирования составляет порядка 1%.

Особенностью электропривода задвижки является то, что значительную часть цикла большинство электроприводов отрабатывает на холостом ходу, так как в середине цикла приходится преодолевать только момент сопротивления в соединении гайка-шток. Таким образом, основная мощность двигателя необходима для обеспечения трогания из уплотненного состояния механизма.

2.1 Механический расчет запорной арматуры.

2.1.1 Расчет основных параметров

Из условий ТЗ:

Тип регулирующего клапана – клеточный;

$$D_y = 100 \text{ мм}$$

$$P_{\text{раб}} = 5 \text{ МПа}$$

Диаметр шпинделя $d_{\text{шп}}$ определяется с точки зрения отсутствия потери его устойчивости при закрывании. Предварительную оценку этого диаметра можно проводить, используя следующее соотношение:

$$d_{\text{шп}} = \frac{h_{\text{шп}}}{n_{\text{шп}}}, \quad (2.1.1)$$

где $h_{\text{шп}}$ — ход невращаемого шпинделя определяется из условия, что затвор должен полностью освобождать проходное сечение для среды, т. е.

$$h_{\text{шп}} = D_y + (20 \dots 40 \text{ мм}); \quad (2.1.2)$$

Предварительная оценка диаметра шпинделя:

$$h_{\text{шп}} = D_y + 35 = 135 \text{ мм} \quad (2.1.3)$$

где $n_{\text{шп}}$ - коэффициент, который принимает следующие значения:

для $D_y < 200 \text{ мм}$ $n_{\text{шп}} = 4 \dots 5$;

для $D_y = 200 \dots 400 \text{ мм}$ $n_{\text{шп}} = 5 \dots 6$;

для $D_y > 400 \text{ мм}$ $n_{\text{шп}} = 6 \dots 7$.

$$n_{un}=4,5$$

Диаметр шпинделя $d_{шп}$ определяется с точки зрения отсутствия потери его устойчивости при закрывании. Предварительную оценку этого диаметра можно проводить, используя следующее соотношение:

$$d_{un} = \frac{h_{un}}{n_{un}} = 30 \text{ мм} \quad (2.1.4)$$

На основании расчетных данных определяем остальные действительные диаметры шпинделя по справочным материалам таблицы 1.

Таблица 1- Шпиндели с трапецеидальной резьбой по ГОСТ 9484—60

Наружный диаметр шпинделя $d_{шп}$, мм	Резьба		
	Шаг резьбы S , мм	Средний диаметр $d_{ср}$, мм	Угол подъема резьбы α , град
18	4	16	4°32'
20		18	4°03'
22	5	19,5	4°39'
24		21,5	4°14'
26		23,5	3°53'
28		25,5	3°34'
30	6	27	4°02'
32		29	3°46'
34		31	3°31'
36		33	3°19'
38		35	3°07'
40		37	3°57'
42		39	2°48'
44	8	40	3°38'
46		42	3°22'
48		44	3°18'
50		16	3°10'
52		48	3°02'
55		51	2°51'
60		56	2°36'
62	10	57	3°12'
65		60	3°02'
70		65	2°48'
75		70	2°36'
78		73	2°30'
80		75	2°26'

85	12	79	2°46'
90		84	2°36'
95		89	2°27'
100		94	2°20'

По данным таблицы 1, ближайшие соответствующие ГОСТу параметры резьбы шпинделя:

Диаметр шпинделя $d_{\text{шп}}=30$ мм; шаг резьбы $S=6$ мм; средний диаметр $d_{\text{ср}}=27$ мм

Толщину сальникового уплотнения S_c рекомендуется определять по следующему соотношению, мм:

$S_c = (0,7 \dots 1,5) \sqrt{d_{\text{шп}}}$, где приняв коэффициент 1,1, получаем:

$$S_c = 1,1 \sqrt{d_{\text{шп}}} = 6,025 \text{ мм} \quad (2.1.5)$$

Окончательно значение S_c уточняется при выборе типа сальниковой набивки. Высоту сальниковой набивки выбирают в зависимости от давления рабочей среды:

$h_c = (5 \dots 6) S_c$ для $P_{\text{раб}} \leq 8$ МПа;

$h_c = (7 \dots 8) S_c$ для $8 \text{ МПа} < P_{\text{раб}} \leq 12 \text{ МПа}$;

$h_c = (9 \dots 10) S_c$ для $P_{\text{раб}} > 12 \text{ МПа}$.

Принимая $h_c=5S_c$ для действующего давления, получаем:

$$h_c = 5 * S_c = 30,12 \text{ мм} \quad (2.1.6)$$

Определяем диаметр сальниковой камеры:

$$D_c = d_{\text{шп}} + 2S_c = 42,05 \text{ мм} \quad (2.1.7)$$

Кроме выбора геометрических размеров сальникового уплотнения, необходимо определить также и ряд силовых факторов, в частности необходимо рассчитать необходимое усилие затяжки сальника Q_c :

$$Q_c = 0,785(D_c^2 - d_{\text{шп}}^2) * P_{\text{сал}} = 7,782 * 10^3 \text{ Па} \quad (2.1.8)$$

где D_c — диаметр сальниковой камеры, мм; $d_{шп}$ — диаметр шпинделя, мм; $P_{сал}$ — давление в сальниковой камере, $P_{сал} = \varphi_c \cdot P_{раб}$, МПа; φ_c — коэффициент, зависящий от рабочего давления $P_{раб}$ и размеров сальниковой набивки h_c / S_c (определяется по табл. 2).

Таблица 2-Значение коэффициентов φ_c и φ для различных $P_{раб}$ и h_c / S_c

Рабочее давление $P_{раб}$, МПа	Коэффициенты φ_c и φ									
	$\frac{h_c}{S_c}$	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
До 2,5 ($f=0,1$)	φ_c	2,13	2,38	2,45	2,63	2,82	3,02	3,25	3,47	3,72
	φ	1,14	1,39	1,65	1,94	2,22	2,55	2,90	3,26	3,65
2,6...6,3 ($f=0,07$)	φ_c	1,89	1,98	2,09	2,20	2,31	2,42	2,55	2,68	2,82
	φ	0,77	0,92	1,08	1,25	1,43	1,61	1,80	2,00	2,24
6,4...15,9 ($f=0,05$)	φ_c	1,73	1,80	1,86	1,93	2,01	2,08	2,15	2,23	2,31
	φ	0,53	0,62	0,73	0,84	0,95	1,06	1,19	1,30	1,43
16,0...40 ($f=0,02$)	φ_c	1,59	1,63	1,67	1,70	1,73	1,77	1,81	1,85	1,89
	φ	0,18	0,22	0,26	0,29	0,31	0,35	0,37	0,41	0,44

На основании отношения $\frac{h_c}{S_c} = 5$, по таблице находим:

$$\varphi_c = 2,31$$

$$\varphi = 1,43$$

Необходимо также определить силу трения между выдвижным шпинделем и сальниковой набивкой $F_{трс}$, Н:

$$F_{трс} = \varphi \cdot d_{шп} \cdot S_c \cdot P_{раб} = 1,292 \cdot 10^3$$

где φ — коэффициент, зависящий от коэффициента трения и геометрических размеров сальника

Необходимо рассмотреть условия, при которых создается плотное перекрытие среды задвижкой. Для этого сопоставляют величины давления среды Q_{cp} на диск тарелки затвора и удельного давления на уплотняющих кольцах седла задвижки, необходимого для обеспечения плотности Q_y . При $Q_{cp} \geq Q_y$ происходит одностороннее самоуплотнение. При $Q_{cp} < Q_y$ необходимо обеспечить одностороннее уплотнение с поджатием. Величины давлений определяются по следующим зависимостям,:

Далее необходимо рассчитать величину среднего давления на затвор клетки, Q_{cp} и величину давления на уплотняющее кольцо для обеспечения плотности Q_y :

$$Q_{cp} = 0,785 D_k^2 P_{раб},$$

$$Q_y = \pi D_k b q_y,$$

где b — ширина уплотняющих колец, мм;

$$b = \frac{D_1 - D_y}{2};$$

q_y — необходимое удельное давление на уплотняющих кольцах, МПа,

$$q_y = \frac{0,8(C + 10P_{раб})}{\sqrt{b}}.$$

D_k — средний диаметр уплотняющего кольца, мм:

$$D_k = \frac{(D_1 + D_y)}{2}, \text{ мм};$$

D_1 — наружный размер седла,

$D_1 = D_y + C$ (C — коэффициент, зависящий от материала уплотнительных колец (для стали и твердых сплавов $C = 35$, для чугуна, бронзы и латуни $C = 30$). Принимая, что материал, из которого изготовлено кольцо-латунь, имеем:

$$D_1 = 100 + 30 = 130 \text{ мм},$$

Тогда средний диаметр уплотняющего кольца будет равен

$$D_k = \frac{(D_1 + D_y)}{2} = 115 \text{ мм}$$

Ширина уплотняющих колец:

$$b = \frac{D_1 - D_y}{2} = 15 \text{ мм};$$

Величина давления, необходимого для обеспечения плотности:

$$q_y = 0,8 \frac{(C + P_{раб})}{\sqrt{b}} = 7,23 \text{ МПа}$$

После всех вычислений и подстановок, получаем:

$$Q_{cp} = 0,785 D_k^2 P_{раб} = 5,191 \cdot 10^4 \text{ Па},$$

$$Q_y = \pi D_k b q_y = 3,916 \cdot 10^4 \text{ Па},$$

Одним из суммарных усилий, действующих на клин затвора, является сила собственного веса Q_g клина затвора, принимаем вес затвора клетки:

$$Q_g = 300 \text{ Н}$$

Наибольшие усилия на шпинделе будут различными в начальный момент открывания Q' и в конечный момент закрывания Q_σ , Н:

В конечный момент закрывания

$Q_{шп}$ усилие, с которым среда выталкивает затвор

$$Q_{шп} = 0,785 d_{шп}^2 \cdot P_{раб} = 3,533 \cdot 10^3$$

Наибольшее усилие в момент открывания Q_1 , Па:

$$Q_1 = 0,26 Q_{cp} - Q_c = 5,624 \cdot 10^3$$

$$Q_\sigma = Q_1 + Q_{шп} + F_{трс} = 1,045 \cdot 10^4 \text{ Па}$$

Q_1' в начальный момент открывания

$$Q_1' = 0,34 Q_{cp} + Q_c = 2,552 \cdot 10^4 \text{ Па}$$

$$Q_o' = Q_1' + Q_{шп} + F_{трс} = 2,328 \cdot 10^4 \text{ Па}$$

Здесь $Q_{шп}$ — усилие, с которым рабочая среда «выдавливает» шпиндель из задвижки; $F_{трс}$ — сила трения шпинделя в сальниковом уплотнении; Q_1 — наибольшее усилие в конечный момент закрывания, Н (табл. 3); Q_1' — наибольшее усилие в начальный момент открывания, Н (табл. 3).

Таблица 3- Наибольшие усилия, необходимые для перемещения затвора в регулирующих клапанах клеточного типа

Условие обеспечения плотности		Материал		
		Латунь или чугун $f_k = 0,25;$ $f'_k = 0,35$	Сталь углеродистая $f_k = 0,30;$ $f'_k = 0,40$	Сталь легированная X18H10T, твердый сплав $f_k = 0,35;$ $f'_k = 0,45$
Одностороннее самоуплотнение (только при $Q_y \geq Q_c$)	Конечный момент закрывания	$Q_1 = 0,26Q_{cp} - Q_c$	$Q_1 = 0,31Q_{cp} - Q_c$	$Q_1 = 0,36Q_{cp} - Q_c$
	Начальный момент открывания	$Q'_1 = 0,34Q_{cp} + Q_c$	$Q'_1 = 0,39Q_{cp} + Q_c$	$Q'_1 = 0,44Q_{cp} + Q_c$

Продолжение таблицы 3

Одностороннее уплотнение с поджатием (только при $Q_y < Q_c$)	Конечный момент закрывания	$Q_1 = 0,67Q_y - 0,43Q_{cp} - Q_c$	$Q_1 = 0,77Q_y - 0,48Q_{cp} - Q_c$	$Q_1 = 0,87Q_y - 0,54Q_{cp} - Q_c$
	Начальный момент открывания	$Q'_1 = 0,52Q_y - 0,17Q_{cp} + Q_c$	$Q'_1 = 0,62Q_y - 0,21Q_{cp} + Q_c$	$Q'_1 = 0,72Q_y - 0,26Q_{cp} + Q_c$
Односторонняя гарантированная плотность	Конечный момент закрывания	$Q_1 = 0,67Q_y + 0,24Q_{cp} - Q_c$	$Q_1 = 0,77Q_y + 0,29Q_{cp} - Q_c$	$Q_1 = 0,87Q_y + 0,33Q_{cp} - Q_c$
	Начальный момент открывания	$Q'_1 = 0,52Q_y + 0,36Q_{cp} + Q_c$	$Q'_1 = 0,62Q_y + 0,41Q_{cp} + Q_c$	$Q'_1 = 0,72Q_y + 0,46Q_{cp} + Q_c$

2.1.2 Расчет крутящего момента на ходовой гайке:

По таблице 4 определяем условия трения исходя из используемого материала и условий смазки узла.

Таблица 4-Величины коэффициентов скольжения в резьбе для стальных шпинделей, применяемых при силовом расчете арматуры

Материал гайки	Коэффициент трения f_p		
	Резьба вне среды		Резьба в среде
	При хорошей смазке	При слабой смазке	
Бронза, латунь, чугун	0,15	0,17	0,20...0,25
Сталь	0,20	0,25	0,30...0,35

Крутящий момент на ходовой гайке рассчитывается из предположения, что он обусловлен только силами трения в резьбе между шпинделем и ходовой гайкой. В конечный момент закрывания максимальный крутящий момент рассчитывается по формуле:

$$M = M_{mp} = 0,5Q_{\sigma}d_{cp}tg(\alpha + \rho)$$

где α — угол подъема винтовой линии резьбы; ρ — угол трения скольжения, $\rho = \arctg f_p$ (f_p — коэффициент трения скольжения в резьбе).

Максимальный момент в конечный момент закрывания

$$\rho = 15,1 - 4,033 = 11,067$$

$$\alpha = 4,03$$

$$f_p = 0,17$$

После всех подсчетов получаем окончательный момент на ходовой гайке:

$$M = 0,5 \cdot Q_{\sigma} \cdot d_{cp} \cdot 0,243 \cdot 10^{-3} = 34,279 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

2.2 Выбор двигателя

Частота вращения ходовой гайки, об/мин,

$$n_{x2} = \frac{60h_{un}}{S\tau}$$

где h_{un} — ход невращаемого шпинделя, мм; S — шаг трапецеидальной резьбы, мм; τ — время полного закрытия задвижки, с.

В соответствии с требованиями технологического процесса, время полного закрытия клапана τ принимаем равным 40 секундам, тогда частота вращения ходовой гайки:

$$n_{x2} = 33,75 \text{ об/мин}$$

Мощность, необходимая для вращения ходовой гайки, Вт,

$$P = \frac{M_{кр} 2\pi n_{x2}}{60} = \frac{M_{кр} \pi n_{x2}}{30} = 121,09$$

где P -мощность, необходимая для вращения ходовой гайки, Вт; $M_{кр}$ — крутящий момент на ходовой гайке, Н·м (принимать в соответствии с условиями обеспечения момента в конечный момент закрывания).

КПД привода $\eta_{пр}$ рассчитывается по следующей формуле:

$$\eta_{пр} = \eta_m^2 \eta_{нк}^2 \eta_3 = 0,841$$

где КПД муфты $\eta_m = 0,96$; КПД подшипника качения $\eta_{нк} = 0,98 \dots 0,99$; КПД зубчатого зацепления $\eta_3 = 0,95$.

Мощность электродвигателя определяется по формуле:

$$P_{эл} = \frac{P}{\eta_{пр}} = 144,09 \text{ Вт}$$

2.3 Схема замещения

Справочные технические данные асинхронного электродвигателя 4ВР63А4.

Таблица 5 – паспортные данные двигателя

Тип	$n_0, \left[\frac{\text{об}}{\text{мин}} \right]$	$U_{лн}, [В]$	$P, [кВт]$	При номинальной нагрузке		$J_{дв}, [кг \cdot м^2]$
				$\cos \varphi_n$	$\eta_n, \%$	
4ВР63А4	1500	380	0,25	0,67	65	0,0006

Продолжение таблицы 5

$m_k = \frac{M_{\text{макс}}}{M_n}$	$m_{\text{п}} = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_n}$	$m_M = \frac{M_{\text{мин}}}{M_n}$	$k_{i_{дв}} = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_n}$
2,2	2,2	1,8	5

Синхронная угловая частота вращения двигателя:

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 157,08 \frac{\text{рад}}{\text{с}}, \quad (2.3.1)$$

где n_0 – синхронная частота вращения, об/мин,

Номинальная угловая частота вращения вала двигателя:

$$\omega_{\text{дв.н}} = \omega_0 \cdot (1 - S_{\text{н}}) = 157,08 \cdot 0,88 = 138,23 \frac{\text{рад}}{\text{с}}, \quad (2.3.2)$$

где $S_{\text{н}}$ – номинальное скольжение двигателя, о.е.

Номинальный ток статора электродвигателя:

$$I_{1\text{н}} = \frac{P_{\text{дв.н}}}{3 \cdot U_{1\text{фн}} \cdot \cos \varphi_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{н}}} = \frac{0,25 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0,67 \cdot 0,65} = 0,87 \text{ А}, \quad (2.3.3)$$

где $P_{\text{дв.н}}$ – номинальная мощность электродвигателя, кВт;

$U_{1\text{фн}}$ – номинальное фазное напряжение, В;

$\cos \varphi_{\text{н}}$ – коэффициент мощности в режиме номинальной мощности,

$\eta_{\text{н}}$ – КПД при номинальной мощности, %;

$I_{1\text{н}}$ – ток, потребляемый двигателем из сети при номинальном режиме работы.

Номинальный момент двигателя:

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{дв.н}} \cdot 10^3}{\omega_{\text{дв.н}}} = \frac{0,25 \cdot 10^3}{138,23} = 1,809 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (2.3.4)$$

Ток статора двигателя при частичной нагрузке:

$$I_{1*} = \frac{P_{\text{дв.н}} \cdot p_*}{3 \cdot U_{1\text{фн}} \cdot \cos \varphi_{75} \cdot \eta_{75}} = \frac{0,75 \cdot 0,25 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0,67 \cdot 0,65} = 0,381 \text{ А}, \quad (2.3.5)$$

где $\cos \varphi_{75}$ – коэффициент мощности при частичной нагрузке;

η_{75} – КПД при частичной нагрузке;

$p_* = 0,75$ – коэффициент загрузки двигателя.

Ток холостого хода:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{1*}^2 - \left[\frac{p_* \cdot (1 - S_{\text{н}})}{(1 - p_* \cdot S_{\text{н}})} \cdot I_{1\text{н}} \right]^2}{1 - \left[\frac{p_* \cdot (1 - S_{\text{н}})}{(1 - p_* \cdot S_{\text{н}})} \right]^2}} = 0,651 \text{ А}. \quad (2.3.6)$$

По формуле Клосса найдем соотношение для расчета критического скольжения:

$$s_K = s_H \cdot \frac{m_k + \sqrt{(m_k)^2 \cdot [1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (m_k - 1)]}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (m_k - 1)} =$$

$$= 0,12 \cdot \frac{2,2 + \sqrt{2,2^2 \cdot [1 - 2 \cdot 0,12 \cdot 1,5 \cdot (2,2 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0,12 \cdot 1,55 \cdot (2,2 - 1)} = 0,71 \quad (2.3.7)$$

где β – коэффициент, характеризующий соотношение активного сопротивления статора и ротора, принимаем $\beta = 1$.

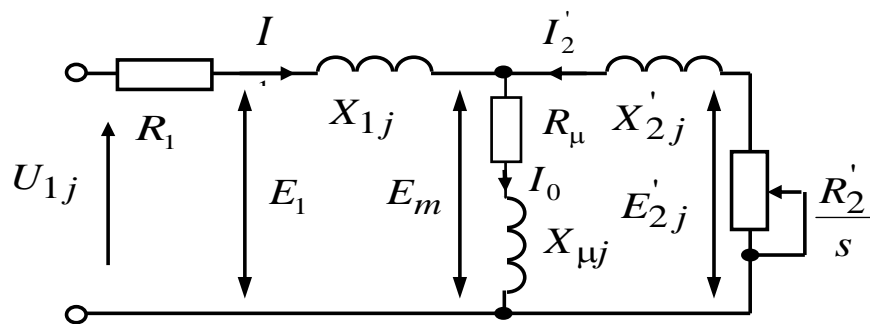


Рисунок 4 – Схема замещения

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя:

$$R_2' = \frac{3 \cdot U_{1\Phi H}^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot m_k \cdot P_{дв.н} \cdot C_1^2 \cdot \left(\beta + \frac{1}{s_K} \right)} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,12)}{2 \cdot 2,2 \cdot 250 \cdot 1,039^2 \cdot \left(1,55 + \frac{1}{0,71} \right)} = 41,856 \text{ Ом}, \quad (2.3.8)$$

где $C_1 = 1,039$ – коэффициент, характеризующий соотношение $\frac{X_\mu + X_{1\delta}}{X_\mu}$;

Активное сопротивление обмотки статора

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1,039 \cdot 41,856 \cdot 1,55 = 44,99 \text{ Ом}. \quad (2.3.9)$$

Найдем коэффициент, характеризующий соотношение приведенного активного сопротивления ротора и индуктивного сопротивления короткого замыкания $X_{кн}$:

$$\gamma = \sqrt{(1/s_K^2) - \beta^2} = 0,983, \quad (2.3.10)$$

тогда, индуктивное сопротивление короткого замыкания в номинальном режиме:

$$X_{\text{кн}} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 44,216 \text{ Ом.} \quad (2.3.11)$$

Приведенное к обмотке статора индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора в номинальном режиме:

$$X_{2\delta}' = 0.58 \cdot \frac{X_{\text{кн}}}{C_1} = 23.859 \text{ Ом.} \quad (2.3.12)$$

Приведенная индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоком рассеяния в номинальном режиме

$$L_{2\delta}' = \frac{X_{2\delta}'}{2 \cdot \pi \cdot f_{1\text{н}}} = \frac{23,859}{2 \cdot 3.14 \cdot 50} = 0,07598 \text{ Гн.} \quad (2.3.13)$$

Индуктивное сопротивление обмотки статора

$$X_{1\delta} = 0.42 \cdot X_{\text{кн}} = 18.571 \text{ Ом.} \quad (2.3.14)$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния в номинальном режиме:

$$L_{1\delta} = \frac{X_{1\delta}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1\text{н}}} = \frac{18,571}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,05914 \text{ Гн.} \quad (2.3.15)$$

ЭДС ветви намагничивания E_1 , наведённая потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме:

$$E_1 = \sqrt{(U_{1\text{н}} \cdot \cos \varphi - R_1 \cdot I_{1\text{н}})^2 + (U_{1\text{н}} \cdot \sin \varphi - X_{1\delta} \cdot I_{1\text{н}})^2} = 182,703 \text{ В,} \quad (2.3.16)$$

Индуктивное сопротивление намагничивания:

$$X_{\mu} = \frac{E_1}{I_0} = \frac{182,703}{0,651} = 280,604 \text{ Ом.} \quad (2.3.17)$$

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре

$$L_{\mu} = \frac{X_{\mu}}{2 \cdot \pi \cdot f_{\text{лн}}} = \frac{280,604}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,89364 \text{ Гн.} \quad (2.3.18)$$

2.4 Расчет параметров асинхронного двигателя

Эквивалентная индуктивность обмотки статора:

$$L_1 = L_{1\delta} + L_{\mu} = 0,05914 + 0,89364 = 0,95278 \text{ Гн.} \quad (2.3.19)$$

Эквивалентная индуктивность обмотки ротора:

$$L_2 = L'_{2\delta} + L_{\mu} = 0,07598 + 0,89364 = 0,96962 \text{ Гн.} \quad (2.3.20)$$

Эквивалентное сопротивление цепи преобразователь-двигатель:

$$R_{\Sigma} = R_{\Sigma} + R'_2 \cdot \left(\frac{L_{\mu}}{L_2}\right)^2 = 44,991 + 41,856 \cdot \left(\frac{0,89364}{0,96962}\right)^2 = 77,544 \text{ Ом.} \quad (2.3.21)$$

Эквивалентная электромагнитная постоянная времени силовой цепи:

$$T_{\Sigma} = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_{\Sigma}} = \frac{0,1356 \cdot 0,95278}{77,544} = 0,00167 \text{ с,} \quad (2.3.22)$$

$$\text{где } \sigma = 1 - \frac{L_{\mu}^2}{L_1 \cdot L_2} = \frac{0,89364^2}{0,95278 \cdot 0,96962} = 0,1356 \text{ с.} \quad (2.3.22)$$

- коэффициент рассеяния.

Электромагнитная постоянная времени цепи ротора:

$$T_2 = \frac{L_2}{R'_2} = \frac{0,96962}{41,856} = 0,023 \text{ с.} \quad (2.3.23)$$

2.5 Проверка адекватности расчетных параметров двигателя.

Рассчитываются значения номинального электромагнитного момента двигателя $M_{\text{эм.н}}$ и $M_{\text{эм.н}}^*$ при найденных параметрах:

$$M_{\text{эм.н}}(s_{\text{н}}) = M_{\text{эм.н}} = \frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_{\text{н}} \cdot \left[(X_{\text{кн}})^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_{\text{н}}} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_{\text{н}} \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 44,856}{157,08 \cdot 0,12 \cdot \left[(44,216)^2 + \left(44,99 + \frac{44,856}{0,12} \right)^2 + \left(\frac{44,99 \cdot 44,856}{0,12 \cdot 280,604} \right)^2 \right]} = 1,91 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{эм.н}}^* = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_{\mu}}{L_{\mu} + L'_{2\delta}} \cdot \Psi_{2\text{н}} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{1\text{н}}^2 - I_0^2} = 2,198 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$\text{где } \Psi_{2\text{н}} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_{\mu} = \sqrt{2} \cdot 79,723 \cdot 0,00829 = 0,935 \text{ Вб}$$

Должны выполняться следующие условия:

$$M_{\text{эм.н}}^* \approx M_{\text{эм.н}} \equiv 2,198 \approx 1,91;$$

$$M_{\text{эм.н}} < M_{\text{эм.н}} < 1,1 \cdot M_{\text{эм.н}} \equiv 1,89 < 1,91 < 2,101$$

По результатам расчета эти условия выполняются.

Таблица 6 - Расчетные параметры АД

Параметр	Значение	Параметр	Значение
R_1 , Ом	44,991	$M_{\text{дв.н}}$, Н · м	1,89
R_2' , Ом	42,856	$M_{\text{эм.н}}$, Н · м	1,91

Продолжение таблицы 6

$L_{1\sigma}$, Гн	0,018	$\Delta M_{\text{с.дв}}$, Н · м	0,172
--------------------	-------	----------------------------------	-------

$L_{2\sigma}, \text{ Гн}$	0,023	$\Psi_{2н}, \text{ Вб}$	0,935
$L_m, \text{ Гн}$	0,89364	$X_{1\sigma}, \text{ Ом}$	18,571
$\omega_{\text{дв.н}}, \text{ рад/с}$	138,16	$X'_{2\sigma}, \text{ Ом}$	23,859
$I_0, \text{ А}$	0,87	$X_{\text{кн}}, \text{ Ом}$	42,216
$s_{\text{к расч}}, \text{ о.е.}$	0,527	$X_{\mu}, \text{ Ом}$	280,604

2.6 Расчет естественных характеристик электродвигателя

Расчет естественных характеристик проводится с целью оценки степени совпадения параметров основных характерных точек расчетных естественных характеристик электродвигателя с параметрами двигателя определенными по справочным техническим данным выбранного электродвигателя [1].

2.6.1 Расчет естественной механической характеристики

Естественная механическая характеристика $M=f(s)$ асинхронного электродвигателя рассчитывается для частоты $f_{\text{и}}=f_{1н}=50 \text{ Гц}$ по выражению

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_{1фн}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[(X_{\text{кн}})^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu}}\right)^2 \right]}.$$

Задаемся скольжением в пределах $s=0.01, 0.02, \dots, 1$ и рассчитываем характеристику $M=f(s)$ (рисунок 1.7), где $\omega = \omega_0 \cdot (1 - s)$.

Также рассчитываются значения электромагнитного момента $M_{\text{эм.н}}$:

$$M_{\text{эм.н}}(s_{\text{н}}) = M_{\text{эм.н}} = \frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_{\text{н}} \cdot \left[(X_{\text{кн}})^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_{\text{н}}} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_{\text{н}} \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 44,856}{157,08 \cdot 0,12 \cdot \left[(44,216)^2 + \left(44,99 + \frac{44,856}{0,12} \right)^2 + \left(\frac{44,99 \cdot 44,856}{0,12 \cdot 280,604} \right)^2 \right]} = 1,91 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

критического скольжения:

$$s_{\text{к}} = R_2' \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{R_1}{X_{\mu}} \right)^2}{R_1^2 + X_{\text{кн}}^2}} = 0,71$$

и электромагнитного критического момента:

$$M_{\text{эм.н}}(s_{\text{к}}) = M_{\text{эм.к}} = \frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_{\text{к}} \cdot \left[(X_{\text{кн}})^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_{\text{к}}} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_{\text{к}} \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} = 1,89 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Рассчитанный по паспортным данным $M_{\text{к}}$:

$$M_{\text{к}} = M_{\text{дв.н}} \cdot m_{\text{к}} = 1,91 \cdot 2,2 = 4,202 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Тогда, естественная механическая характеристика АД, примет вид как на рис.4

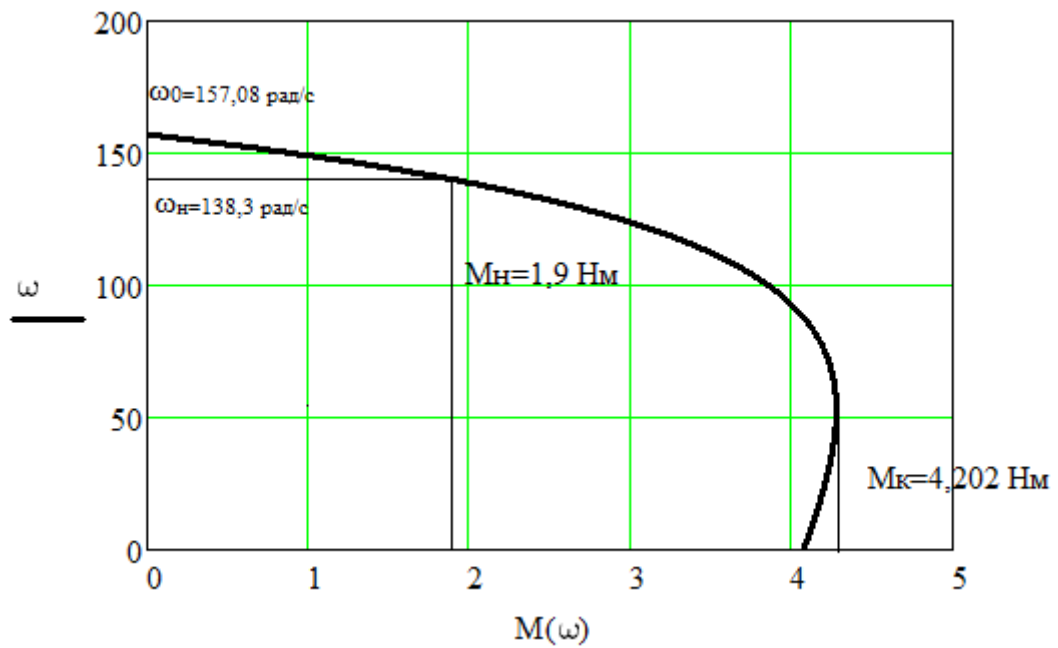


Рисунок 5 – Естественная механическая характеристика асинхронного электродвигателя

2.6.2 Расчет естественной электромеханической характеристики

Естественная электромеханическая характеристика $I_1(s)$ электродвигателя рассчитывается для значения частоты $f_H = f_{1H} = 50$ Гц по выражению

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2(s) + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(s) \cdot \sin \varphi_2(s)},$$

где

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\Phi H}}{\pm \sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + (X_{KH})^2 + (\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu})^2}};$$

$$\sin \varphi_2(s) = \frac{X_{KH}}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + (X_{KH})^2}}.$$

По вышеприведенным выражениям для скольжений $s = s_H$ и $s \rightarrow 0$ рассчитываются значения тока статора $I_1(s_H)$ и I_0 :

$$I_0 = \frac{U_{1\Phi H}}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_\mu)^2}} = 0,727 \text{ A},$$

$$I_1(s_H) = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2(s) + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(s) \cdot \sin \varphi_2(s)} = 0,959 \text{ A}$$

где

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\Phi H}}{\pm \sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + (X_{KH})^2 + (\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu})^2}} = 0,55 \text{ A};$$

$$\sin \varphi_2(s) = \frac{X_{KH}}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s_H})^2 + (X_{KH})^2}} = 0,11;$$

По результатам расчета строится естественная электромеханическая характеристика $I_1 = f(\omega)$. Электромеханическая характеристика приведена на рисунке 5.

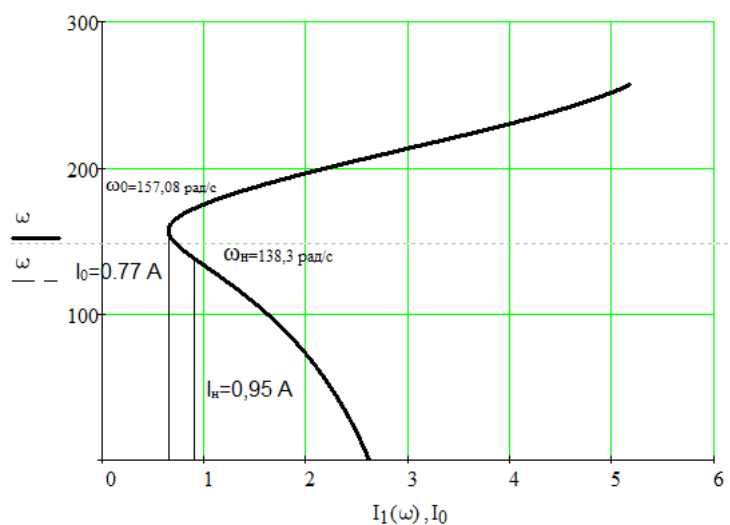


Рисунок 6 – Естественная электромеханическая характеристика асинхронного электродвигателя

2.7 Выбор и обоснование способа регулирования ЭП. Системы частотно-регулируемого асинхронного электропривода с векторным и скалярным управлением.

Асинхронные регулируемые электроприводы переменного тока обычно строятся на базе асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором с частотным управлением. При этом в качестве источников питания применяются полупроводниковые преобразователи частоты, работающие в режиме источника напряжения.

В электроприводах с диапазоном регулирования до 100, к которым предъявляются высокие требования к динамическим режимам, применяется частотно-токовый способ, при котором регулируется частота и действующее значение выходного тока ПЧТ в зависимости от абсолютного скольжения двигателя при заданной скорости и действующей нагрузке.

В электроприводах с большим диапазоном регулирования скорости и высокими требованиями к динамическим характеристикам применяется регулирование мгновенных значений трехфазной системы питающих напряжений и токов с использованием векторного принципа регулирования.

Наиболее простыми системами частотного регулирования являются частотно-параметрические системы. Такие системы обеспечивают диапазон регулирования скорости до $D=20:1$. Обычно это разомкнутые по скорости системы частотного регулирования, у которых желаемое семейство механических характеристик асинхронного двигателя получается за счет формирования регулировочной характеристики преобразователя частоты – отношения величины напряжения, питающего двигатель, к частоте $U_{пч} / f_{пч}$.

Частота $f_{пч}$ определяется величиной задаваемой скорости ω_z . Канал регулирования частоты преобразователя выполняется с линейной регулировочной характеристикой. В канал регулирования напряжения включается функциональный преобразователь, который обеспечивает требуемое соотношение между частотой и напряжением. При этом желательно

предусмотреть отрицательную обратную связь по выходному напряжению, чтобы преобразователь частоты обладал свойством источника напряжения. Это позволяет достаточно точно выполнять требуемое соотношение между частотой и напряжением.

Асинхронные электроприводы с диапазоном регулирования скорости до $D=100:1$ и высокими требованиями к динамике, когда осуществляются частые пуски, торможения и реверсы, выполняются как системы с частотно-токовым управлением. В таких системах преобразователь частоты работает в режиме источника тока. Это достигается применением преобразователей частоты, которые охватываются отрицательной обратной связью по току. Система регулирования осуществляет задание частоты и величины тока статора в соответствии с заданной скоростью и нагрузкой на валу двигателя.

Преимущества векторного способа управления асинхронным двигателем:

- высокая точность при регулировании скорости вращения вала, несмотря на возможное отсутствие датчика скорости,
- осуществление вращения двигателя на малых частотах происходит без рывков, плавно,
- если установлен датчик скорости, то можно достичь номинального значения момента на валу даже при нулевом значении скорости,
- быстрота реагирования на возможное изменение нагрузки – резкие скачки нагрузки практически не отражаются на скорости электропривода,
- высокий уровень КПД двигателя, за счет сниженных потерь из-за намагничивания и нагрева.

Несмотря на такие преимущества, метод векторного управления имеет определенный ряд недостатков – большая сложность вычислений, для работы необходимо знание параметров двигателя. Помимо всего прочего колебания значения скорости при постоянной нагрузке значительно больше, чем при скалярном методе управления. Сегодняшние частотно-регулируемые асинхронные электроприводы применяют блочно - модульные принципы

комплектования и реализуются согласно структурам скалярного и векторного частотного управления.

2.8 Выбор преобразователя частоты

На основе выбранного электродвигателя, выбираем преобразователь частоты (ПЧ).

Был выбран преобразователь частоты фирмы Schneider Electric серии ALTIVAR. Преобразователь частоты ALTIVAR 312 (ATV312) необходим для 3-фазных и 1-фазных асинхронных двигателей с питанием от 220 и 380В до 600В и мощностью от 0,18 до 15 кВт.

Выбор был произведен на основании тока двигателя и мощности (таблица 7).

Таблица 7 – Типы преобразователей

Наименование	Мощность, кВт	Ток в номинальном режиме, А	Перегрузка, 60 сек, А	Мощность рассеивания при номинальной нагрузке, Вт	Габариты В*Ш*Г, мм	Масса, кг
ATV312H037N4	0,37	1,5	2,3	32	143*107*152	1,800
ATV312H055N4	0,55	1,9	2,9	37	143*107*152	1,800

Выбиран преобразователь по номинальному (длительно допустимому) току $I_{и.ном}$ и по мощности. Выбираем ПЧ типа ATV312H037N4.

$$I_{и.ном} = 1,5 \text{ А} \geq I_{дв.ном} = 0,87 \text{ А}$$

$$P_{и.макс.дв} = 0,37 \text{ кВт} \geq P_{ном.дв} = 0,25 \text{ кВт}$$

На основании выше написанного можно сделать вывод, что преобразователь частоты выбран верно.

Параметры ПЧ:

- максимальная мощность подключаемого двигателя – $P_{и.макс.дв} = 0,37$ кВт;

- номинальный выходной ток – $I_{и.ном} = 1,5$ А;

- масса – 1,800 кг

На рисунке 11 приведен внешний вид преобразователя.



Рисунок 8 – Внешний вид преобразователя ATV312H037N4.

На рисунке 8 приведена схема подключения ПЧ.

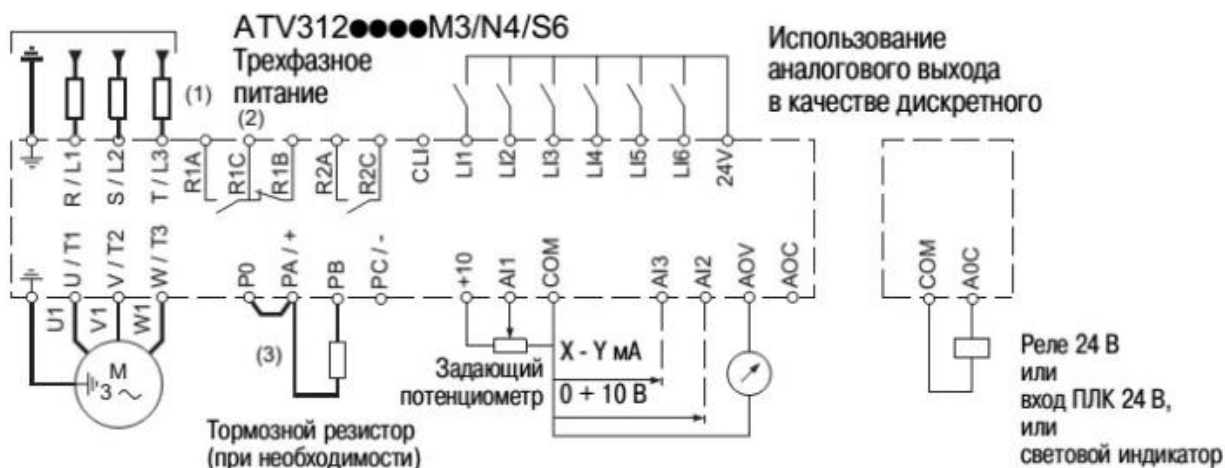


Рисунок 9 – Схема подключения ПЧ

В таблице 3 приведены основные характеристики ПЧ.

Таблица 8 – Основные характеристики ПЧ

Основные характеристики	
Семейство продуктов	Привод с регулируемой частотой вращения
Назначение изделия	Асинхронные двигатели
Применение изделия	Простая машина
Стиль сборки	С радиатором
Наименование компонента	ATV312
Мощность двигателя, кВт	0,37
Мощность двигателя, л.с.	0,5
Номинальное напряжение питающей сети, В	380...500 (-10...+15%)
Частота напряжения, Гц	50...60 (-5...+5%)
Число фаз сети	3 фазы
Линейный ток, А	2,2 для 380 В
Фильтр помех	Встроенный
Полная мощность, кВт · А	1,5

Рассеиваемая мощность, Вт	32 при номинальной нагрузке
Диапазон регулирования	1...50
Способ управления электродвигателем	Заводская настройка: Бессенсорное векторное управление двигателем с помощью канала ШИМ
Протокол порта обмена данными	CANopen, Modbus
Степень защиты	IP41, IP31, IP20

2.9 Выбор автоматического выключателя и пускателя

Для защиты двигателей от токов короткого замыкания, токов перегрузки необходимо выбрать автоматические выключатели. Защитные аппараты выбираются по току электромагнитного расцепителя, току теплового расцепителя и току короткого замыкания.

1. Необходимо определить пусковой ток, зная номинальный ток электроприемника:

$$I_{\text{пуск}} = 6,5 \cdot I_{\text{н}} = 6,5 \cdot 1,5 = 9,75 \text{ A} \quad (2.4.1)$$

2. Определяем кратковременный ток:

$$I_{\text{кр}} = 1,25 \cdot I_{\text{пуск}} = 1,25 \cdot 9,75 = 12,188 \text{ A} \quad (2.4.2)$$

3. Ток электромагнитного расцепителя должен быть больше кратковременного тока:

$$I_{\text{ЭМ}} \geq I_{\text{кр}}$$

По время-токовой характеристике отключения выбираем уставку электромагнитного расцепителя равную 10, т.е.

$$I_{\text{эм}} = 10 \cdot I_{\text{н}} = 10 \cdot 1,5 = 15 \text{ A} \quad (2.4.3)$$

где $I_{\text{н}}$ - номинальный ток преобразователя.

Проверка по току короткого замыкания:

$$I_{\text{кз}} \geq I_{\text{эм}}$$

$$I_{\text{кз}} = 10 \cdot I_{\text{н}} = 10 \cdot 1,5 = 15 \text{ A} \quad (2.4.4)$$

Выбираем трехполюсный автоматический выключатель серии ВА57-35 с фиксированными и регулируемыми уставками предназначены для применения в цепях с напряжением до 690В переменного тока с частотой 50 Гц для защиты от токов короткого замыкания и перегрузки, недопустимых снижений напряжения, а также нечастых оперативных включений и отключений, номинальным током 16 А.



Рисунок 10 – Автоматический выключатель ВА57-35

2.10 Структурная схема силового канала электропривода

Система векторного управления частотного управления асинхронным двигателем базируется на представлении физических переменных двигателя пространственными векторами, у которых могут изменяться как модули, так и положение в пространстве. Основой для реализации систем управления частотно-регулируемых асинхронных электроприводов с векторным управлением является структурная схема двухфазного асинхронного двигателя во вращающейся системе координат, ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора $\vec{\Psi}_2$, приведенная на рисунке 7.

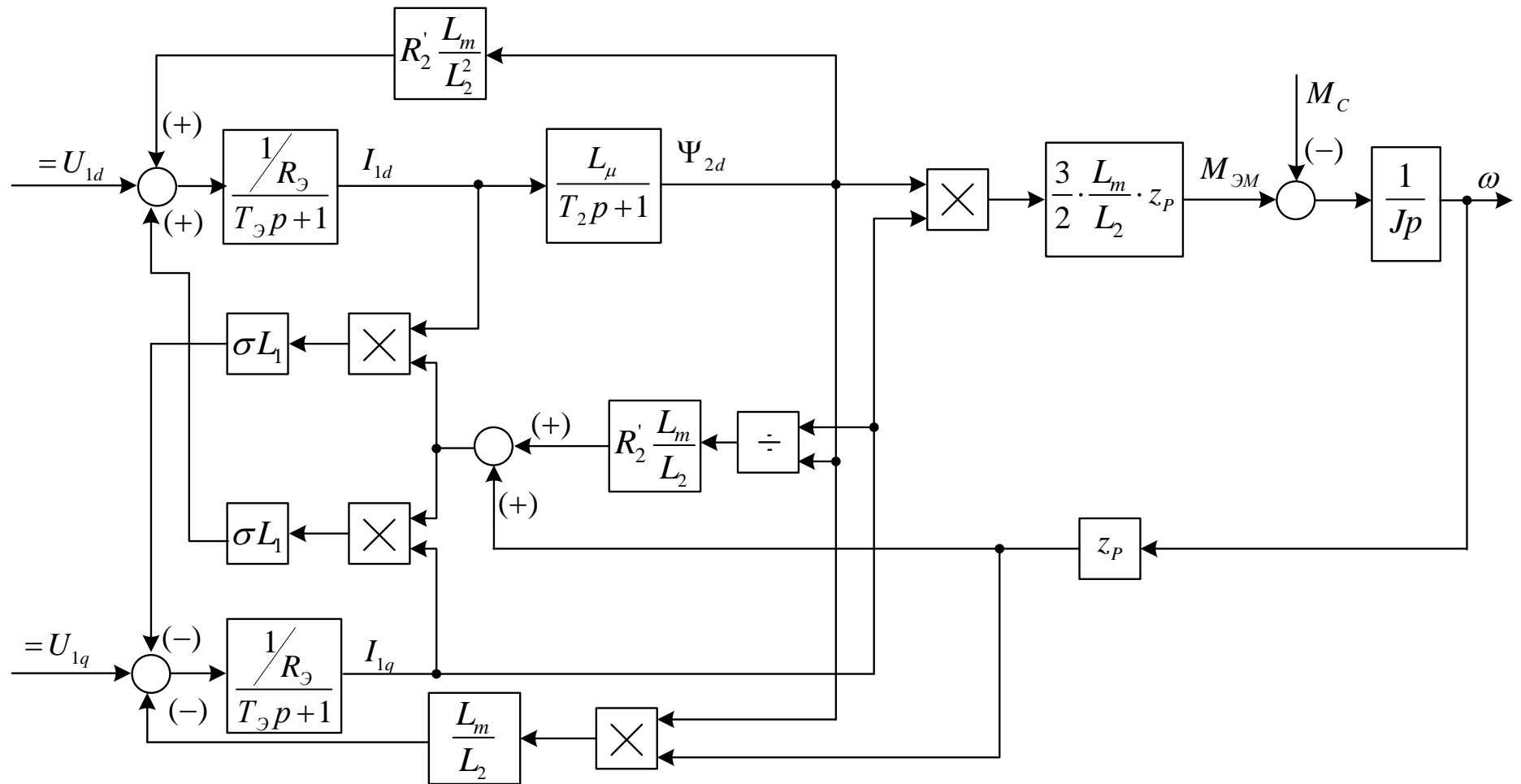


Рисунок 11 – Структурная схема асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором во вращающейся системе координат d,q, ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора.

Тогда структурная схема силового канала частотно-регулируемого асинхронного электропривода с векторным управлением реализуется на базе структурной схемы двухфазного асинхронного электродвигателя во вращающейся системе координат d, q , ориентированной по результирующему вектору потокоцепления ротора может быть представлена в виде, приведенном на рисунке 8.

В силовой канал электропривода входят:

- преобразователь частоты, выполняющий функцию электрического преобразователя;
- электродвигатель, который выполняет функцию электромеханического преобразователя;
- механическая система, которая выполняет функцию механического преобразователя.

Внутренними перекрестными связями в структурной схеме двигателя первоначально на этапе определения параметров настройки САУ РЭП желательно пренебречь. Это возможно, если выполняются условия:

$$\frac{T_2}{T_3} \gg 1; \frac{T_M}{T_3} \gg 1,$$

где
$$T_M = \frac{J_{\Sigma} \cdot \omega_0}{M_{\text{эм.кр}}}, \text{ с,}$$

– электромеханическая постоянная времени электропривода, или их можно компенсировать с помощью обратных связей на вход преобразователя частоты. В этом случае структурную схему силового канала системы преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель можно представить в виде схемы, приведенной на рисунке 9.

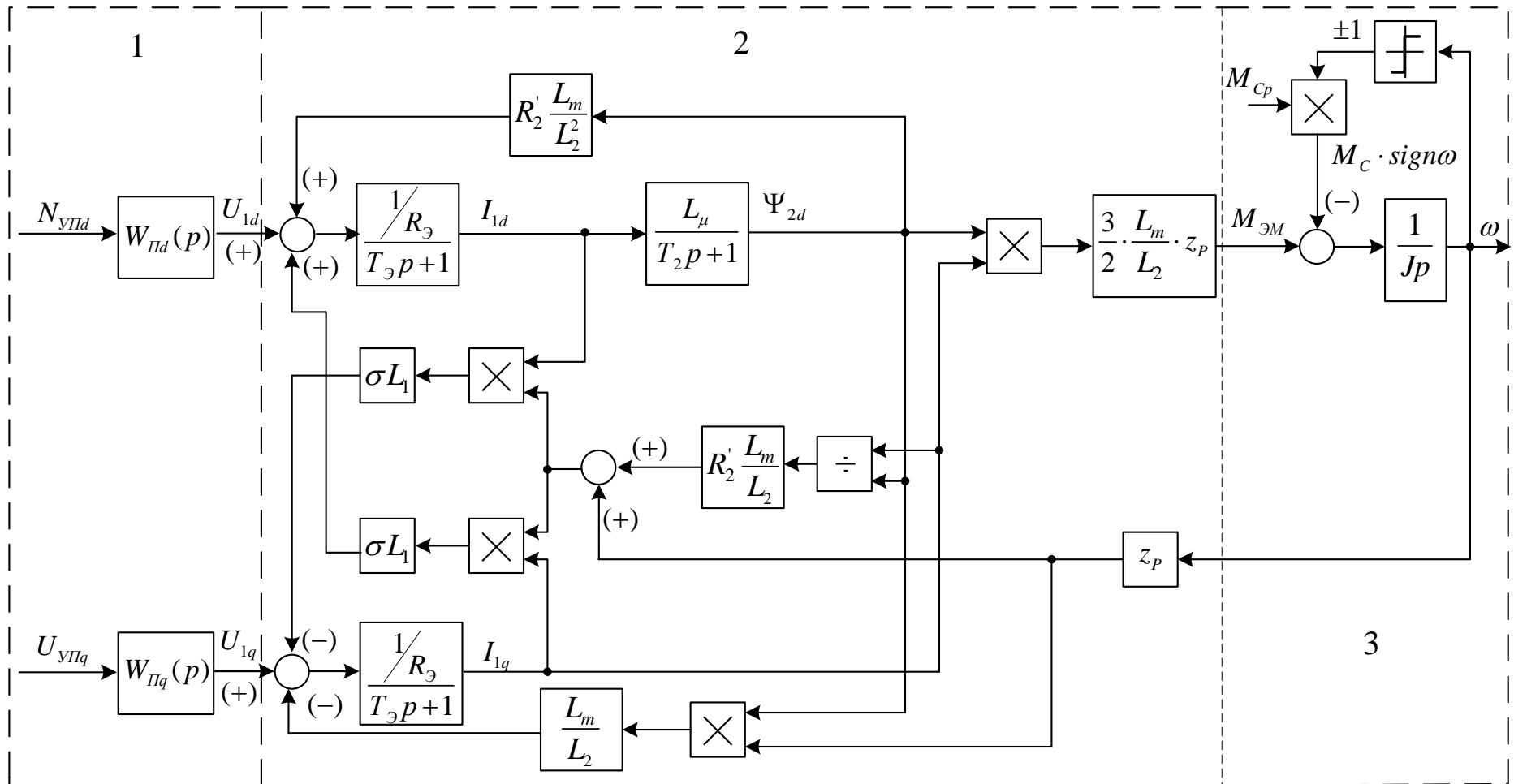


Рисунок 12 – Структурная схема силового канала асинхронного электропривода с векторным управлением

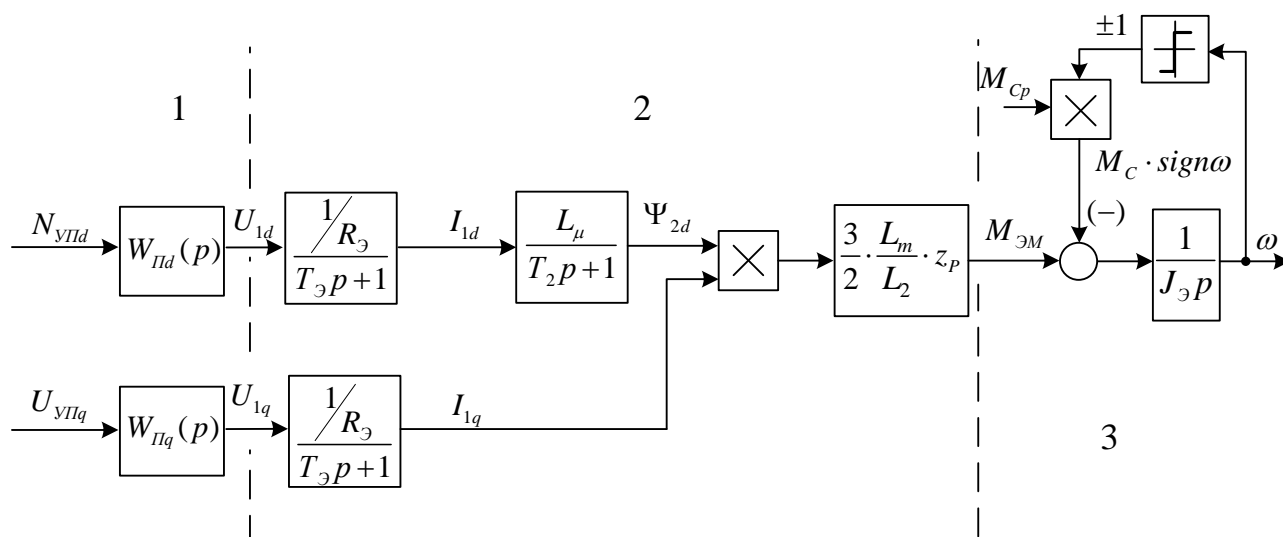


Рисунок 13 – Структурная схема силового канала асинхронного электропривода с векторным управлением и компенсацией внутренних перекрестных обратных связей двигателя

На схемах рис 8 и 9 обозначены: 1 – преобразователь фазных напряжений управления двухфазным асинхронным электродвигателем; 2 – двухфазный асинхронный электродвигатель во вращающейся системе координат d, q , ориентированной по результирующему вектору потокоцепления ротора; 3 – одностепенная механическая система в общем случае с нагрузкой $M_{ср}$ реактивного характера.

2.11 Расчет характеристик разомкнутой системы ПЧ-АД и оценка выполнения заданной области работы электропривода

При векторном управлении магнитный поток поддерживается: в первой зоне постоянным $\Psi_{2d} = \Psi_{2н} = const$, а во второй зоне ослабляется в

соответствии с зависимостью $\Psi_{2d} = \Psi_{2н} \cdot \frac{\omega_{нач}}{\omega}$, где $\omega_{нач}$ – начальная скорость ослабления поля.

1. На полученное семейство механических характеристик $M(\omega)$ рисунка 3.3 наносятся граничные характеристики для длительного и кратковременного режимов работы:

$$M_{1\min} = 0,48; \quad MC_1 = 1,65$$

$$M_{\partial}(0) = 1,62; \quad M_{\text{эмн}} = 1,8; \quad M_{1\max} = 3$$

2. Рассчитывается и строится зависимость длительно допустимого тока электродвигателя $I_{\text{дв.длит.доп}}(\omega)$ при значении коэффициента вентиляции $k = 0.9$:

$$I_{\text{дв.длит.доп}}(\omega) = I_{\text{дв.н}} \cdot \left(k + \frac{(1-k) \cdot 2 \cdot \omega}{\omega_{\text{дв.н}}} \right) \text{ при } \omega \leq 0.5 \cdot \omega_{\text{дв.н}} ;$$

$$I_{\text{дв.длит.доп}}(\omega) = I_{\text{дв.н}} = 0,87 \text{ А при } \omega > 0.5 \omega_{\text{дв.н}} .$$

Результаты расчета сведены в таблице 4.

Таблица 9 – Результаты расчета зависимости $I_{\text{дв.длит.доп}}(\omega)$

ω , рад/с	0	$0.5\omega_{\text{дв.н}} = 78,54$	$\omega_{\text{эп.макс}}$
$I_{\text{дв.длит.доп}}$, А	0,3	0,87	138,23

3. Рассчитывается и строится зависимость длительно допустимого момента электродвигателя $M_{\text{дв.длит.доп}}(\omega)$:

$$M_{\text{дв.длит.доп}}(\omega) = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_{\mu}}{L_2} \cdot \Psi_{2\text{н}} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{\text{дв.длит.доп}}^2(\omega) - I_0^2} ,$$

$$\text{где } \Psi_{2\text{н}} = \frac{M_{\text{эм.н}}}{\frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_{\mu}}{L_2} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_1^2(\omega_{\text{дв.н}}) - I_0^2}} = 0.919 \text{ Вб}$$

– значение номинального потокосцепления двигателя.

Результаты расчета занесены в таблицу 5.

Таблица 10 – Результаты расчета зависимости $M_{\text{дв, длит. доп}}(\omega)$

$\omega, \text{ рад/с}$	0	$0.5\omega_{\text{дв.н}} = 153.93$	$\omega_{\text{эп. макс}}$
$M_{\text{дв, длит. доп}}, \text{ Н} \cdot \text{ м}$	1,3	1,51	121.852

4. Рассчитывается и строится зависимость $I_{\text{с макс}}(\omega)$, соответствующая длительной максимальной нагрузке $M_{\text{с прив. макс}}(\omega) = \text{const}$. Для этого необходимо на естественной характеристике $M(\omega)$ определить соответствующее $M_{\text{с прив. макс}} + \Delta M_{\text{с дв}} = 235 \text{ Н} \cdot \text{ м}$ значение скольжения $s_{\text{т.5}}$, решив относительно s уравнение

$$\frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[(X_{\text{кн}})^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} = M_{\text{с прив. макс}} + \Delta M_{\text{с дв}},$$

и далее рассчитать значение тока $I_{\text{с прив. макс}} \Big|_{f_{\text{и}} = f_{\text{ин}}}$ и скорости $\omega_{\text{т.5}} = \omega_0 \cdot (1 - s_{\text{т.5}})$.

Зависимость $I_{\text{с макс}}(\omega)$ рассчитывается по выражениям:

$$I_{\text{с макс}}(\omega) = I_{\text{с макс}} \Big|_{f_{\text{и}} = f_{\text{ин}}} \text{ при } \omega \leq \omega_{\text{т.5}};$$

Решив уравнение относительно s , получаем $s = s_{\text{т.5}} = 0.015$.

Тогда $I_{\text{с макс}}(\omega_{\text{т.5}}) = 0,86 \text{ А}$

Результаты расчета сведены в таблице 11.

Таблица 11 – Результаты расчета зависимости $I_{сприв.макс}(\omega)$

ω , рад/с	$\omega_{эп.мин} = 2.714$	$\omega = 309.445$	$\omega_{эп.макс}$
$I_{смакс}$, А	0,739	0,86	123.498

5. Рассчитывается и строится зависимость $I_{эп.макс}(\omega)$, соответствующая кратковременной максимальной нагрузке $M_{эп.макс}(\omega)=const$. Для этого необходимо на естественной характеристике $M(\omega)$ определить соответствующее $M_{эп.макс} + \Delta M_{сдв} = 8,929 \text{ Н} \cdot \text{м}$ значение скольжения $s_{т.14}$, решив относительно s уравнение

$$\frac{3 \cdot U_{1фн}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[(X_{кн})^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} = M_{эп.макс} + \Delta M_{сдв},$$

и далее рассчитать значение тока $I_{эп.макс} \Big|_{f_{и}=f_{ин}}$, и значение скорости

$$\omega_{т.14} = \omega_0 \cdot (1 - s_{т.14})$$

$$I_{эп.макс}(\omega) = I_{эп.макс} \Big|_{f_{и}=f_{ин}} \text{ при } \omega \leq \omega_{т.14};$$

Решив уравнение относительно s , получаем $s = s_{т.5} = 0.019$.

Тогда

$$\omega_{т.14} = 157,08 \cdot (1 - 0.01949) = 154,018 \text{ рад/с}$$

$$I_{эп.макс}(\omega_{т.14}) = 2,7 \text{ А}$$

Результаты расчета сведены в таблице 12.

Таблица 12 – Результаты расчета зависимости $I_{\text{эл.макс}}(\omega)$

ω , рад/с	$\omega_{\text{эл.мин}}$	$\omega_{\text{т.14}} = 308$	$\omega_{\text{эл.макс}}$
$I_{\text{эл.макс}}$, А	172.41	172.41	154,018

Рассчитанные зависимости отображены на соответствующих рисунках 14 и 5. На рисунке 14 показаны механические характеристики электропривода и нагрузки при векторном управлении; на рисунке 15 показаны электромеханические характеристики электропривода при векторном управлении.

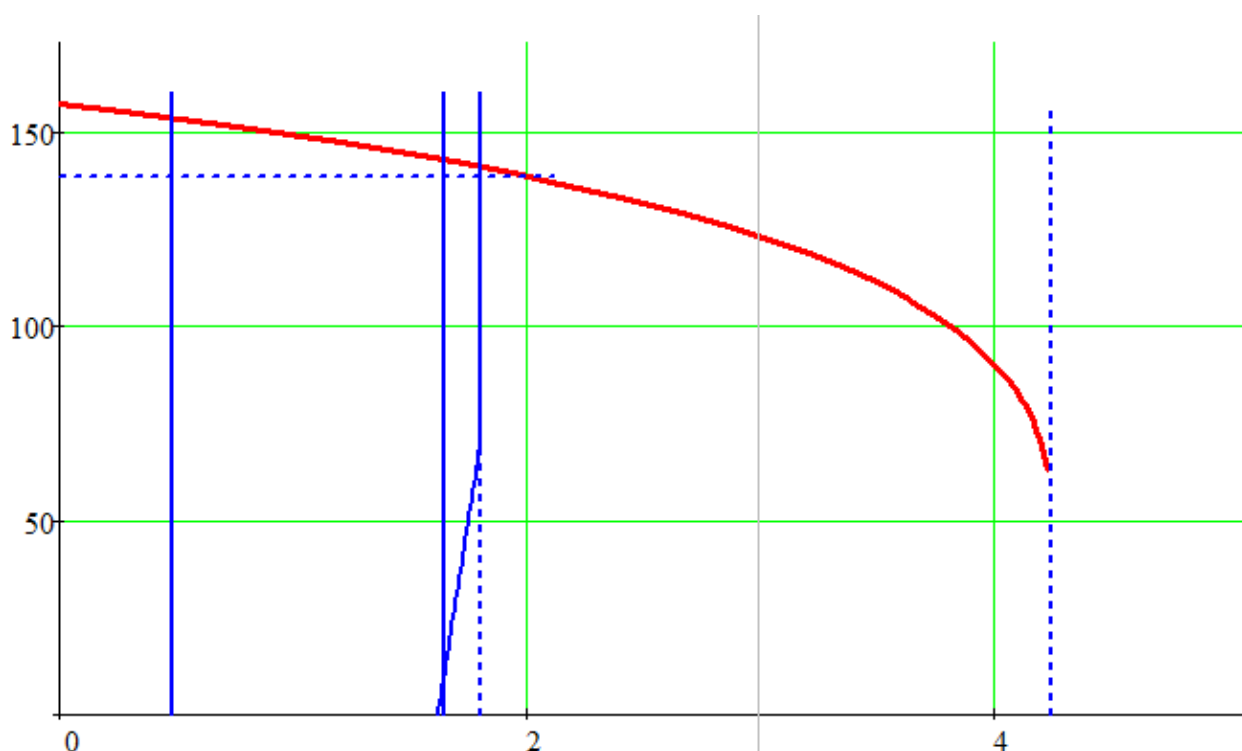


Рисунок 14 – Механические характеристики электропривода

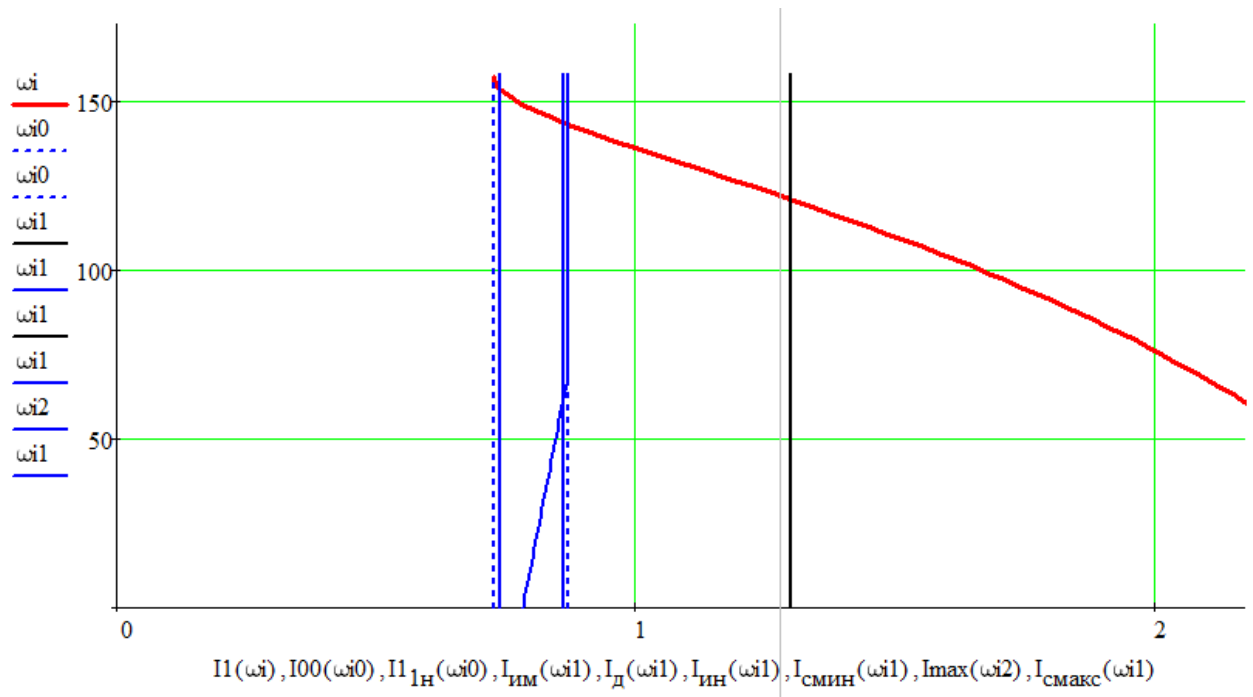


Рисунок 15 – Электромеханические характеристики электропривода

2.12 Механические и электромеханические характеристики при законе управления частотно-векторном управлении

Механические характеристики двигателя при переменных значениях частоты и напряжения питания рассчитываются по выражению:

$$M = \frac{3 \cdot U_{1\phi}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \cdot S \cdot \left[X_{KH}^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}} \right)^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}} \right)^2 \right]}; \quad (2.6.1)$$

Электромеханические характеристики двигателя при переменных значениях частоты и напряжения питания рассчитываются по выражениям (2.6.2-3):

$$I_1 = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2' \cdot \sin \varphi_2}; \quad (2.6.2)$$

$$I_2' = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + X_{KH}^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}} \right)^2}}; \quad (2.6.3)$$

3 Структурная схема САР ЭП (Система автоматического регулирования электропривода)

3.1 Структурная схема линеаризованной САУ частотно-регулируемого асинхронного двигателя с векторным управлением

Структурная схема линеаризованной непрерывной САУ частотно-регулируемого однофазного асинхронного электропривода с векторным управлением приведена на рисунке 13.

Структурная схема САУ асинхронного электропривода рис.13 реализована на основании структурной схемы силового канала преобразователя частоты двигатель, в которой внутренние связи в двухфазном асинхронном двигателе либо скомпенсированы, либо не учитываются [1].

САУ электропривода реализована по схеме с независимым управлением потокосцеплением. Управление на входе контура потокосцепления постоянное

$$N_{\Psi} = N_{\Psi_{\text{макс}}} = \text{const}.$$

На схеме приняты следующие обозначения:

$W(p)_{\text{рТ}}, W(p)_{\text{рΨ}}, W(p)_{\text{рс}}$ - передаточные функции регуляторов тока, потокосцепления и скорости соответственно;

$k_{\text{Т}}$ – коэффициент обратной связи по току, $\frac{1}{\text{А}}$.

k_{Ψ} – коэффициент обратной связи по потокосцеплению ротора, $\frac{1}{\text{Вб}}$.

$k_{\text{с}}$ – коэффициент обратной связи по скорости, $\frac{1}{\text{рад/с}}$.

$T_{\text{мто}}, T_{\text{мΨо}}$ и $T_{\text{мсо}}$ – малые постоянные времени цепи обратной связи по току, потокосцеплению и скорости, с.

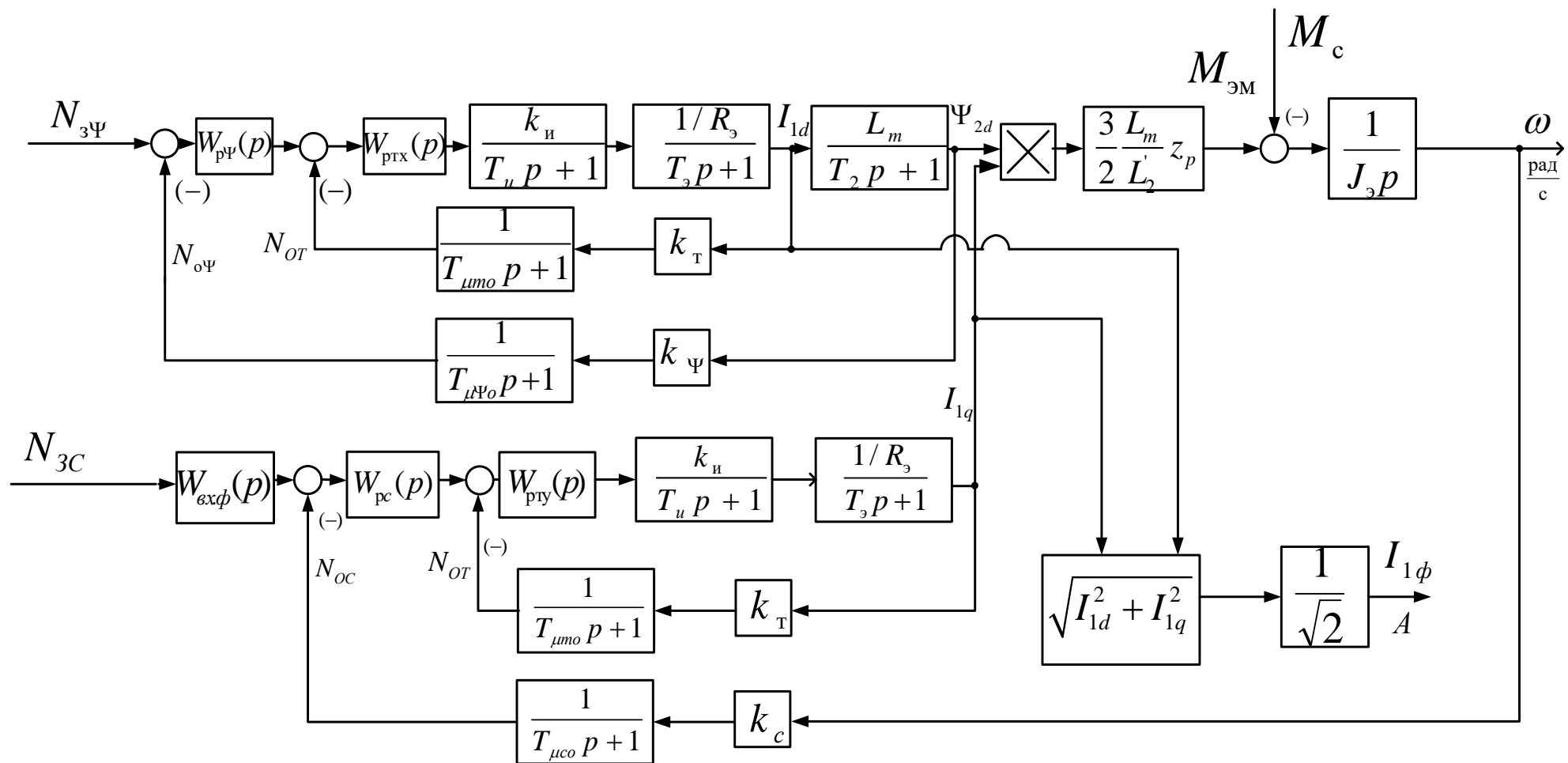


Рисунок 16 – Структурная схема линейризованной непрерывной САУ частотно-регулируемого асинхронного электропривода с векторным управлением

3.2 Оптимизация контура потокосцепления с ПИ-регулятором, аналоговым датчиком потока

Аналоговый сигнал с аналогового датчика потока преобразуется с помощью АЦП в цифровой сигнал. Предполагается, что в принятой модели двухфазного асинхронного двигателя во вращающейся системе координат d, q с помощью аналогового датчика непосредственно измеряется потокосцепление ротора Ψ_{2d} .

Параметры настройки регулятора:

– коэффициент усиления регулятора;

$$k_{p\Psi} = \frac{1}{4 \cdot \frac{L_\mu}{L_2} \cdot R_2 \cdot T_{\text{inv}}} = 1,13299;$$

– постоянная времени регулятора потока;

$$T_{p\Psi} = \frac{1}{R_2 / L_2} = 0,02317 \text{ с},$$

4 Выбор оборудования системы автоматического регулирования процесса

За контролем расхода установлен расходомер ДРГ.М-2500.

Технические характеристики представлены ниже [10].

Таблица 13 – Технические характеристики расходомера ДРГ.М-2500

Технические характеристики	
Температура рабочей среды, °C	0...+150
Максимальное избыточное давление среды в трубопроводе, МПа	До 6,0
Температура окр. среды в месте установки расходомера, °C	-40...+60
Степень защиты блока расходомера	IP65/IP65
Длина соединительных кабелей, м	До 200
Напряжение питания прибора, В	187...240 АС, либо 12-24-36 DC, либо с источником бесперебойного питания до двух недель

Таблица 14 - Расход среды в зависимости от диаметра условного прохода

Типоразмер	Ду трубопровода, мм	Избыточное давление измеряемой среды, МПа	Диапазон эксплуатационных расходов Q (при рабочих условиях), м ³ /ч	
			Наименьший Q _{min}	Наибольший Q _{max}
ДРГ.М-160	50	От 0,003 до 0,05 От 0,05 до 2,5	8 4	160
ДРГ.М-400	80	От 0,003 до 0,05 От 0,05 до 2,5	20 10	400
ДРГ.М-800	80	От 0,003 до 0,05 От 0,05 до 2,5	40 20	800
ДРГ.М-1600	80	От 0,003 до 0,05 От 0,05 до 2,5	80 40	1600



Рисунок 17 - Ультразвуковой расходомер ДРГ.М-2500

Электронный блок (ЭБ) - устройство, содержащее электронные узлы формирования и преобразования ультразвуковых импульсов, вычисления расхода, объема и вывода информации на основе измеренных времен распространения ультразвуковых

импульсов. Конструктивно ЭБ (электронный блок) представляет собой приборный корпус из пластика для настенного монтажа.

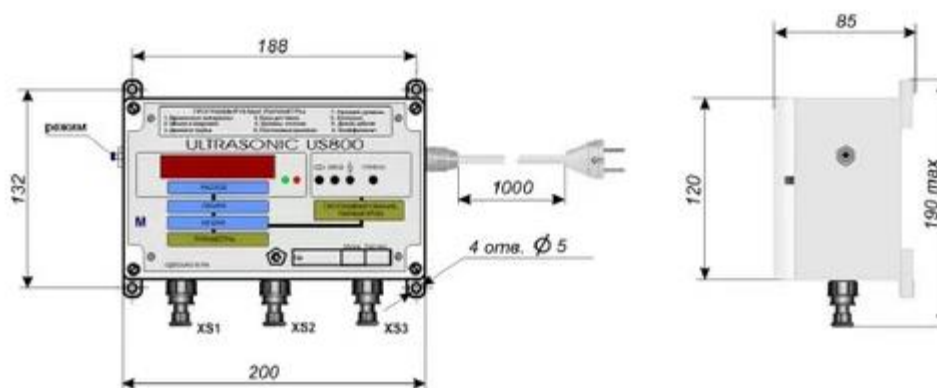


Рисунок 18 – Приборный корпус электронного блока US-800

На лицевой панели ЭБ US-800 расположены:

- функциональная клавиатура из четырех кнопок;
- два единичных светодиодных индикатора "норма-отказ";
- девятиразрядный цифровой индикатор.

Габариты и установочные размеры устройства приведены в таблице 15.

Таблица 15 – Габариты и установочные размеры УПР

Фланец по ГОСТ 12820-80 Исполнение УПР	Габариты и установочные размеры, мм						Материал
	D1	D2	L	b	d	n	
Ду 32	135	100	370	факт.	18	4	12X18H10T
Ду 40	145	110	370				
Ду 50	160	125	300				
Ду 65	180	145	330				
Ду 80	195	160	330				
Ду 100	215	180	370				
Ду 150	280	240	400		22	8	
Ду 200	335	295	462				
Ду 250	405	355	650			26	Сталь 20

Датчик-реле давления DMP 333i (рис.27) имеет следующие технические параметры:



Рисунок 19 – Датчик давления DMP 333i

Таблица 16 – Основные технические характеристики датчика давления DMP 333i

Датчик давления DMP 333i	
Диапазон рабочих давлений измеряемой среды, МПа	0...600
Температурная погрешность при $t \in [-20 \dots 80] ^\circ\text{C}$, %	$< 0,2\%$
Выходной сигнал, мА	4...20
Защиты	<ul style="list-style-type: none"> -короткое замыкание на землю/корпус; -смена полярности при монтаже; -электрическое перенапряжение; -вибрационные нагрузки.
Интерфейс настройки датчика	RS-232
Цифровой интерфейс	RS-485, протокол HART/Modbus

В качестве клапана выбираем регулирующий клеточный клапан типа 41005. Клапан регулирующий клеточный серии 41005 применяется в качестве регулятора расхода газа и устанавливается в устье метаноугольной скважины. Такой клапаны управляется автоматически. Технические характеристики представлены в таблице 17, а внешний вид на рисунке 19.

Таблица 17 –Физические размеры клапана

Обозначение серии изделия	DN, мм	PN, МПа	Kv, м ³ /ч	T, °C	H, мм	H1, мм	L, мм	Масса, кг
41005	50	20	29,6	350	35	415	220	20,5

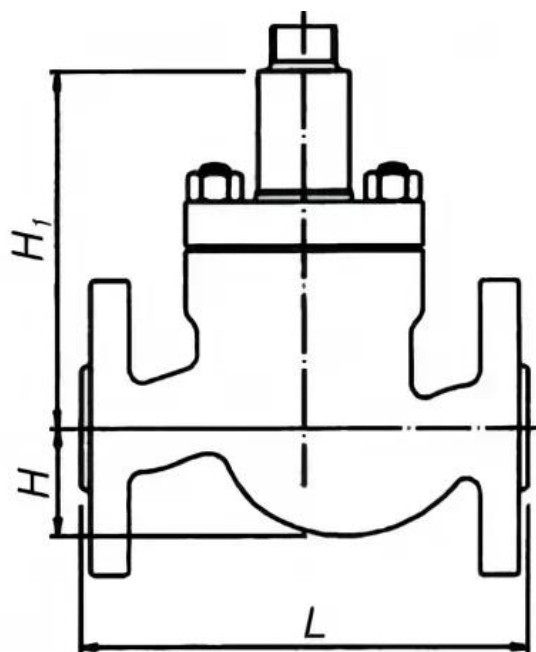


Рисунок 20 – Геометрические размеры клапана

5. Имитационное моделирование процесса нагнетания при проведении гидродинамических исследований (метаноугольной скважины)

5.1. Имитационная модель ПЧ-АД (векторный закон управления), проверка адекватности

Динамическая модель АД во вращающейся системе координат для расчета переходных процессов

Математическое описание и структурная схема асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором во вращающейся системе координат d, q, ориентированной по вектору потокосцепления ротора [9]:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{1d} = R_3 \cdot (T_3 \cdot p + 1) \cdot I_{1d} - \frac{R_2' \cdot L_m}{L_2^2} \cdot \Psi_{2d} - \omega_{\text{кс}} \cdot \sigma \cdot L_1 \cdot I_{1q}; \\ U_{1q} = R_3 \cdot (T_3 \cdot p + 1) \cdot I_{1q} + \omega_{\text{кс}} \cdot \sigma \cdot L_1 \cdot I_{1d} + \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \Psi_{2d}; \\ 0 = (T_2 \cdot p + 1) \cdot \Psi_{2d} - L_m \cdot I_{1d}; \\ \omega_{\text{кс}} = z_p \cdot \omega + \frac{L_m \cdot R_2'}{L_2} \cdot \frac{I_{1q}}{\Psi_{2d}}; \\ M_{\text{эм}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot \Psi_{2d} \cdot I_{1q}; \\ \omega = \frac{1}{J \cdot p} \cdot (M_{\text{эм}} - M_c); \\ R_3 = R_1 + R_2' \cdot \frac{L_m^2}{L_2^2}; \quad T_3 = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_3}; \quad T_2 = \frac{L_2}{R_2'} \end{array} \right. \quad (3.1.1-8)$$

где $U_{1d} = U_{1q} = U_1$ – постоянные по форме составляющие напряжения статора в ориентированной по вектору потокосцепления ротора Ψ_2 , вращающейся синхронно с полем статора системе координат d, q;

I_{1d} , I_{1q} – составляющие тока статора в системе координат d, q, А;

$\Psi_{2d} = |\vec{\Psi}_2|$ – потокосцепление ротора в системе координат d, q, Вб.

Уравнениям соответствует приведенная на рисунке 30 структурная схема асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, выполненная во вращающейся системе координат d, q ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора.

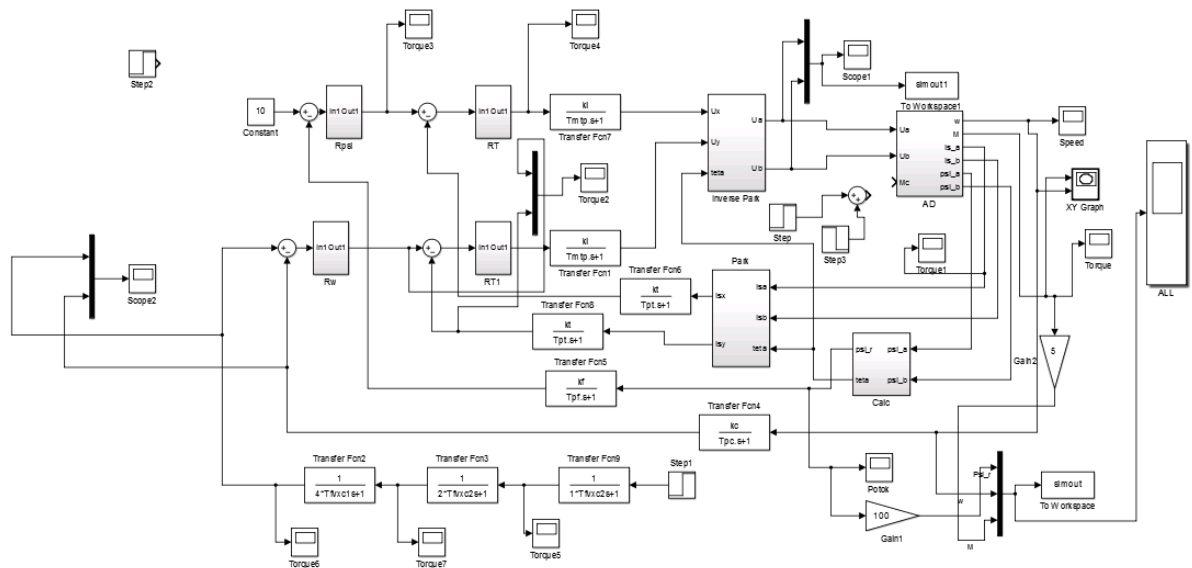


Рисунок 21 – Имитационная модель системы векторного управления частотно-регулируемого асинхронного электропривода

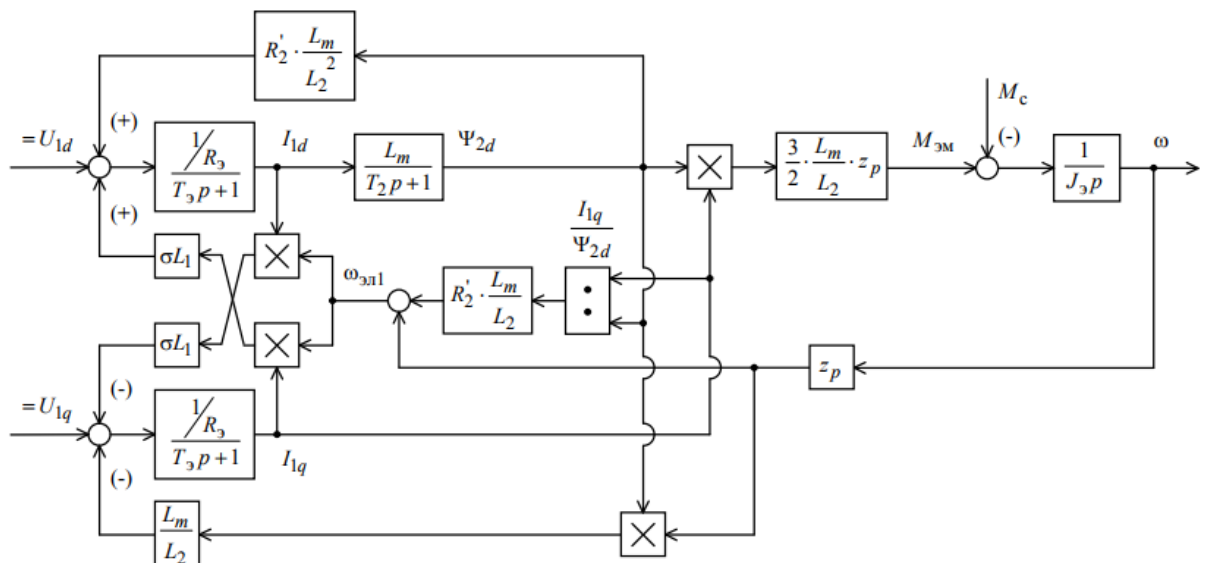


Рисунок 22 – Структурная схема асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором во вращающейся системе координат d, q , ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора

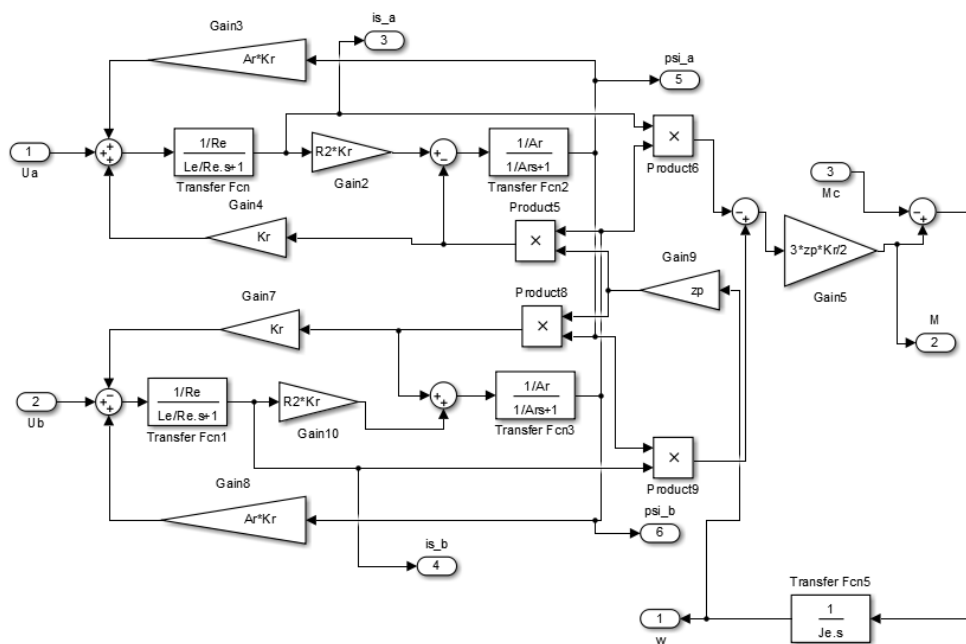


Рисунок 23 – Имитационная модель механической части силового канала системы преобразователь частоты-асинхронный электродвигатель с векторным управлением

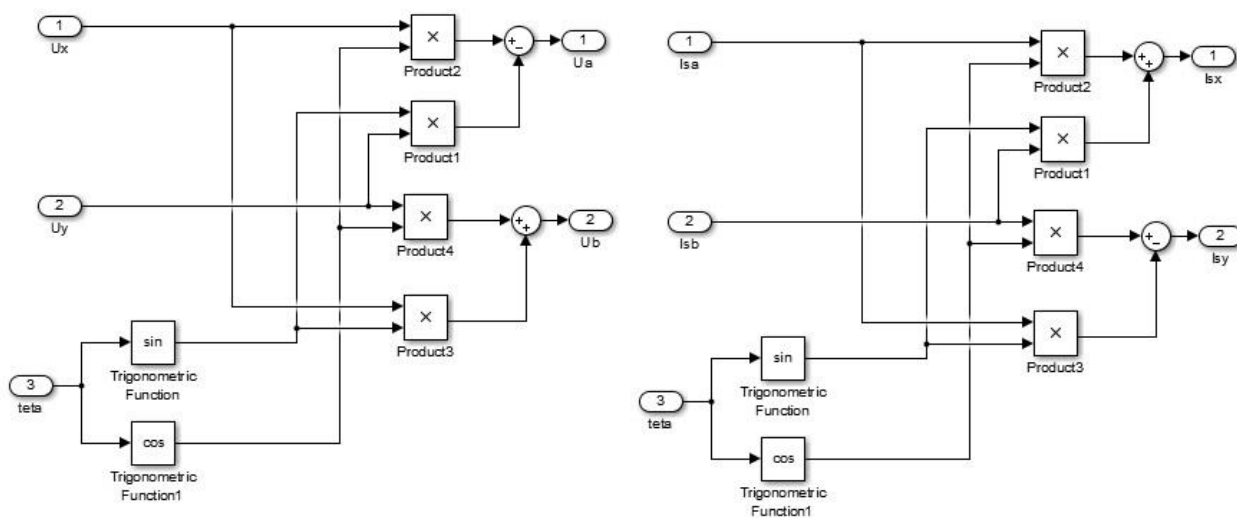


Рисунок 24 – Схема набора имитационной модели преобразователя координат: a – из вращающейся координатной системы d, q в неподвижную

систему координат α, β ; \bar{b} – из неподвижной системы координат α, β во вращающуюся координатную систему d, q

На вход имитационной модели АД подаем трехфазное напряжение с частотой 50 Гц.

После делаем преобразование трехфазной системы координат в двухфазную систему координат.

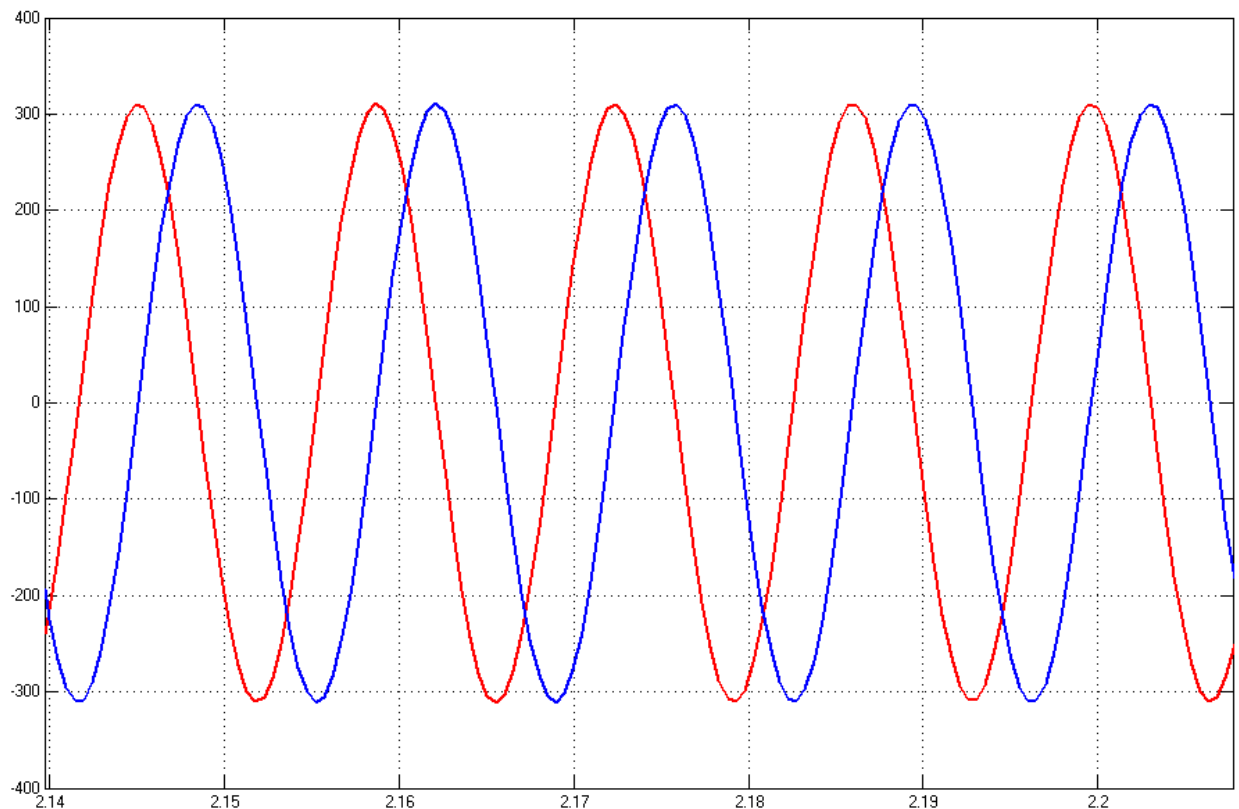


Рисунок 25 – Графики напряжений в двухфазной система координат собранной в среде MatlabSimulink

Как видно из графиков напряжений мы перешли от трёхфазной системы к двухфазной системе координат с частотой 50 Гц. Угол сдвига между фазами составляет 90 градусов.

Как видно из графиков напряжений мы перешли от двухфазной системы к вращающейся системе координат с неподвижными векторами $U_d = 311$ В и $U_q = 0$ В.

Далее формируем М-File и вводим паспортные данные и параметры схемы замещения АД.

```

>> %Парметры АД
n0=1500;           %синхронная скорость
U=380;             %номинальное линейное напряжение статора
P=250;             %номинальная мощность
Sn=0.12;           %номинальное скольжение
Cos=0.67;          %коэффициент мощности
KPD=0.65;          %КПД
Je=0.006;          %момент инерции
p=4;               %число полюсов
zp=p/2;            %число пар полюсов

%Расчет параметров схемы замещения
n=(1-Sn)*n0;       %номинальная скорость в об/мин
w=pi*n/30;         %номинальная скорость в рад/с
U1=U/sqrt(3);      %номинальное фазное напряжение статора
I1=P/(3*U1*Cos*KPD); %номинальный фазный и линейный ток статора
R1=44.99;          %активное сопротивление статора
X1g=18.571;        %индуктивное сопротивление рассеяния статора
L1g=X1g/(2*pi*50); %индуктивность статора
R2=41.856;         %активное сопротивление ротора
X2g=23.859;        %индуктивное сопротивление рассеяния ротора
L2g=X2g/(2*pi*50); %индуктивность ротора
Xm=280.605;        %индуктивное сопротивление цепи намагничивания
Lm=Xm/(2*pi*50);   %индуктивность цепи намагничивания
XKH=X1g+X2g;       %индуктивное сопротивление короткого замыкания

```

Рисунок 26 – Содержание документа M-File

Name ▲	Value	Name ▲	Value
Ar	43.1889	Tmfo	8.0000e-04
Cos	0.6700	Tmte	3.9250e-04
F2x	0.9160	Tmto	3.3000e-04
I0	0.7252	Tmtp	6.2500e-05
I1	0.8722	Tpc	0.0127
I1max	0.6853	Tpf	0.0232
Je	0.0060	Tpt	0.0016
KPD	0.6500	Tt	7.8500e-04
Kr	0.9216	U	380
L1	0.9523	U1	219.3931
L1g	0.0591	X1g	18.5710
L2	0.9691	X2g	23.8590
L2g	0.0759	XKH	42.4300
Le	0.1291	Xm	280.6050
Lm	0.8932	a	2.7649
Mc	0.5426	g	0.1356
P	250	kc	0.0723
R1	44.9900	kf	10.9169
R2	41.8560	ki	31.0269
Re	80.5430	kpc	150.7373
Sn	0.1200	kpf	10.9303
T2	0.0232	kpt	0.3633
Te	0.0016	kt	14.5918
Tf	3.3000e-04	n	1320
Tfvxc1	0.0127	n0	1500
Tfvxc2	8.0000e-04	p	4
Tmco	8.0000e-04	w	138.2301
Tmfo	8.0000e-04	zp	2

Рисунок 27 - M-File с паспортными данными и параметрами
схемы замещения АД марки 4BP63A4

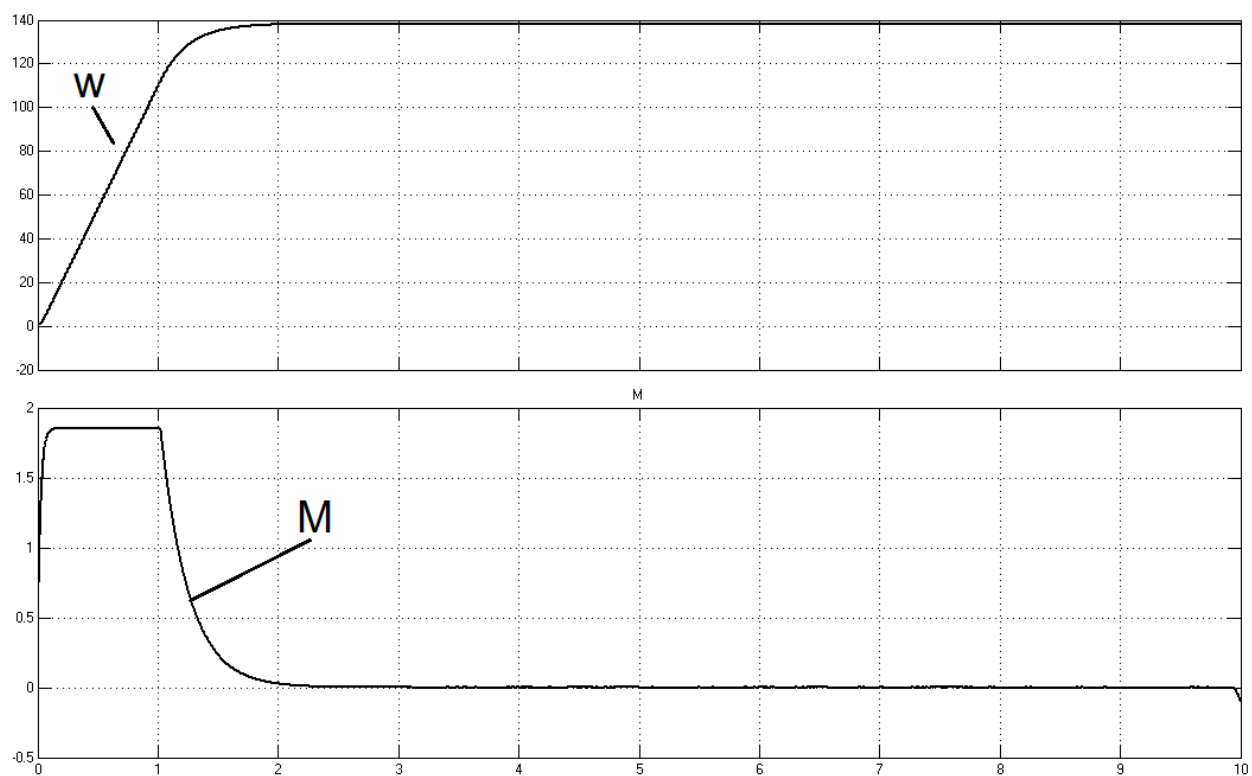


Рисунок 28 – Переходные процессы скорости и момента при пуске двигателя на холостом ходу

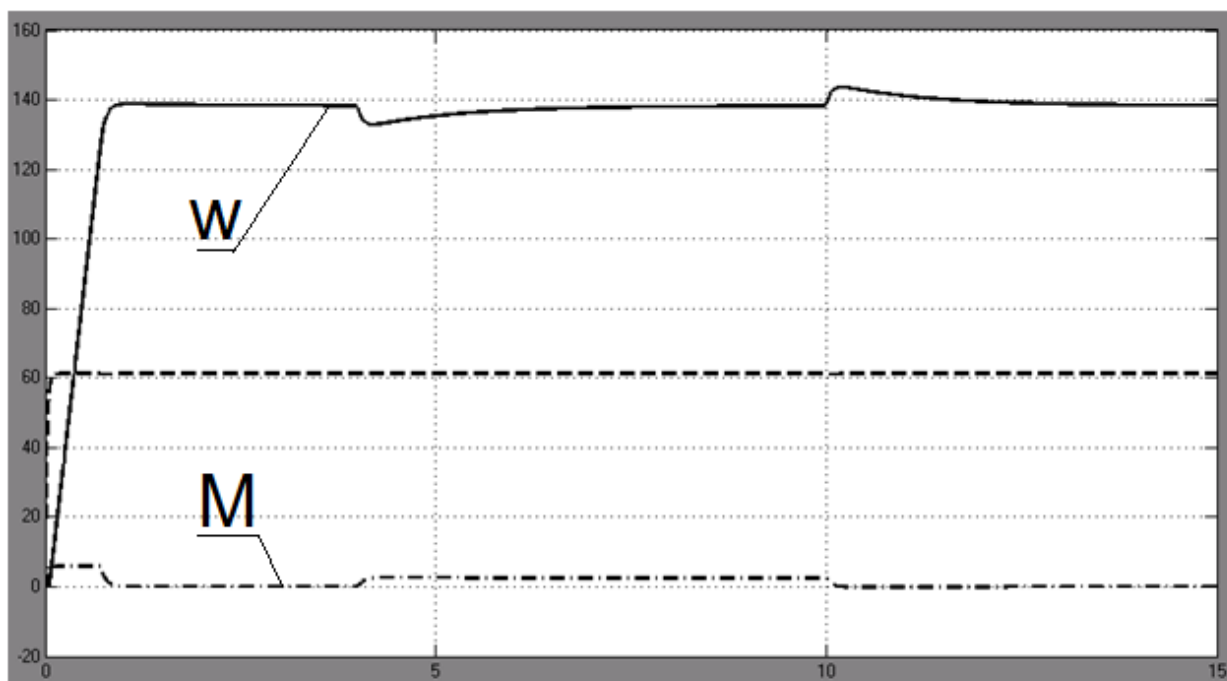


Рисунок 29 – Переходные процессы скорости, момента и потокосцепления при набросе нагрузки в момент времени $t=4$ с и последующим ее сбросе в момент времени $t=10$ с

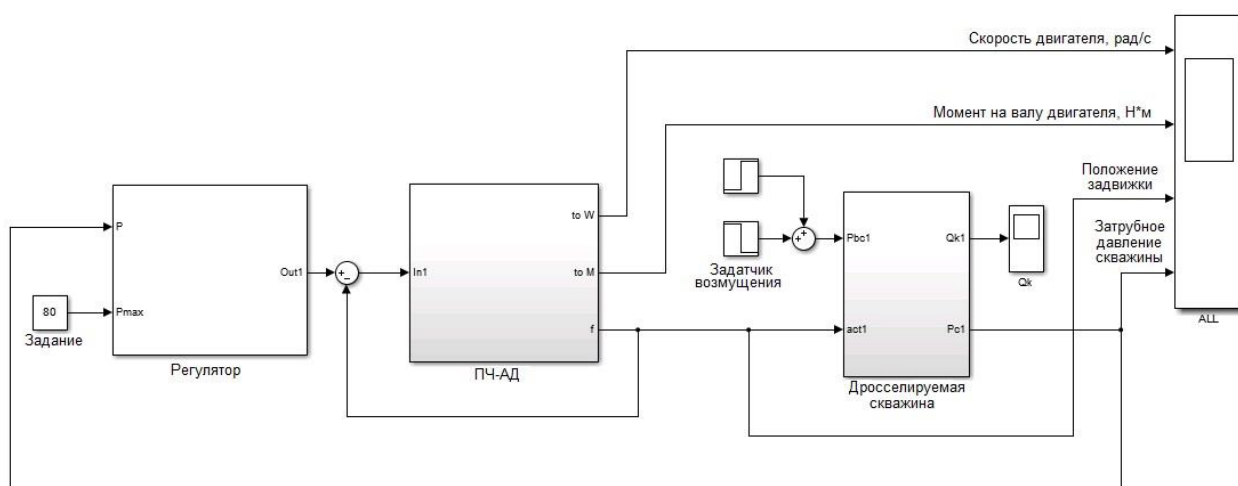
Таблица 18 – Сравнение расчетных и полученных моделированием
координат

Выходные координаты	Расчетные	Полученные моделированием
n , рад/с до нагрузки	138,3	138,25
n , рад/с после нагрузки	138,3	138,23
M_H , Н м	1,81	1,81

Как видно из таблицы расчетные и экспериментальные результаты практически совпадают, из чего можно сделать вывод, что модель работает правильно.

5.2.Общая схема из блоков Subsystem

На основании схемы автоматизации процесса поддержания давления при эксплуатации скважин методом имитационного моделирования с помощью программы Matlab с использованием библиотеки Simulink, SimPowerSystems, была составлена модель, состоящая из 4 основных частей: регулятор давления, система ПЧ-АД, дроссельная заслонка и закон формирования изменения затрубного давления от времени. Общая схема из блоков представлена на рисунке 30.



Оснащение блоков представлено далее.



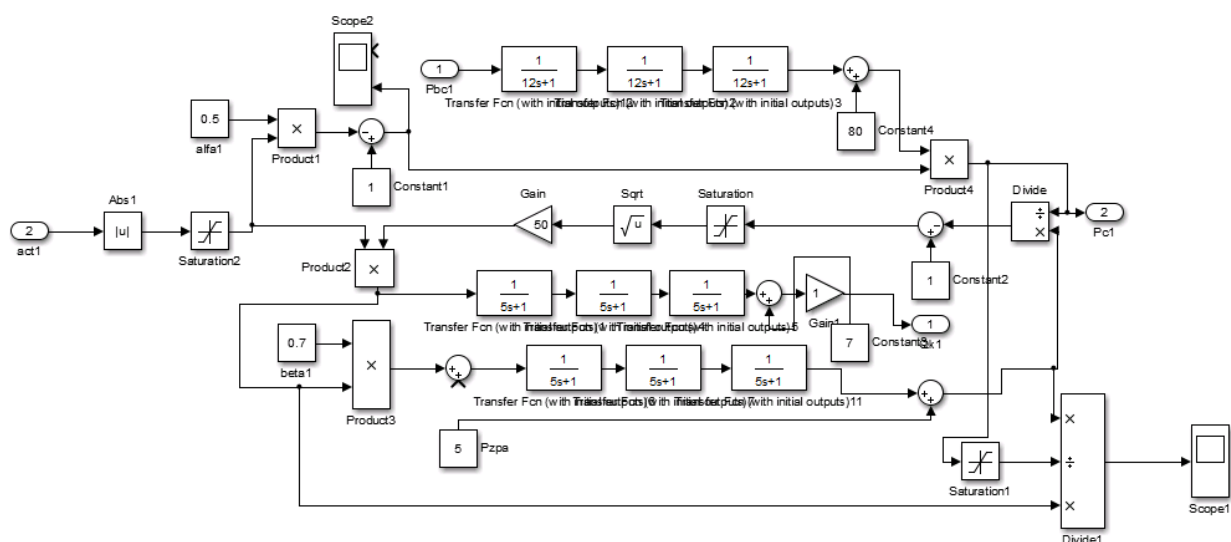


Рисунок 33 - Модель действующей скважины

5.3 Анализ работы модели газовой скважины, контуров скорости и положения

В программной среде Matlab была разработана имитационная модель действующей скважины. Результаты моделирования исследования представлен на рисунке 34.

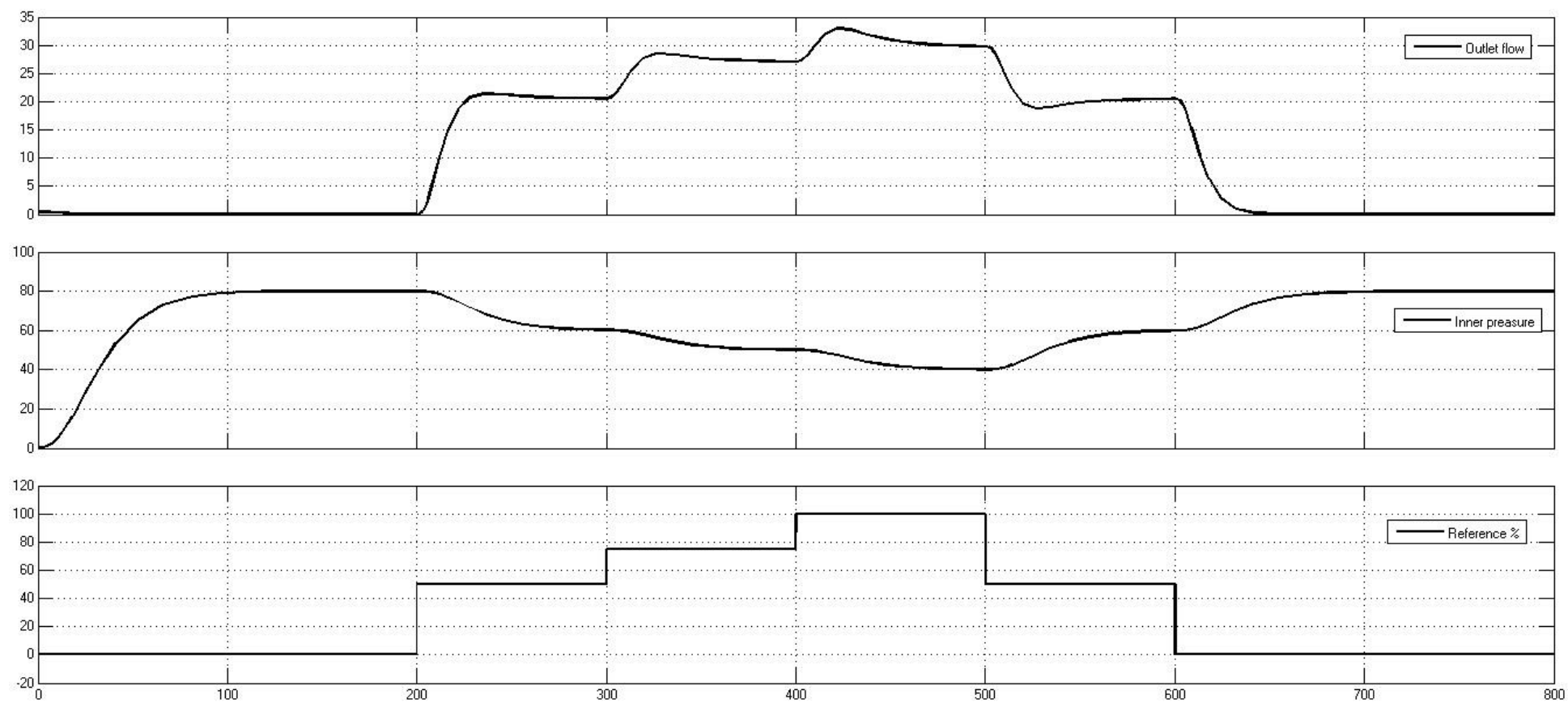


Рисунок 34 – Модель действующей метанугольной скважины

На данном примере представлены процессы, происходящие в скважине в ответ на изменение положения задвижки. Так, в момент времени $t \in [0 \dots 200]$ с, регулирующий клапан полностью закрыт, и затрубное давление может достигнуть своего максимума в виду притока газа. После чего в момент времени $t_1 = 200$ с, $t_2 = 300$, $t_3 = 400$, $t_4 = 500$, $t_5 = 600$, клапан мгновенно открывается на 50%, 75% и 100% соответственно. Это вызывает закономерное падение затрубного давления и, как следствие, повышение расхода в выходном коллекторе. В момент времени $t_4 = 500$ с, $t_5 = 600$ с, регулирующий клапан закрывается на 50% и 0% соответственно. Характер спада и нарастания давления и расхода при перемещениях запорного органа говорит об истощении и наполнении скважины, что свидетельствует об адекватности полученной модели.

Отдельно рассмотрен контур положения.

В момент времени $t_1 = 0$ с клапан закрыт, запорный орган находится в положении 0%. В это момент подается задание на открытие на 95% после чего двигатель выходит на номинальные обороты и по мере достижения цели останавливается. В момент времени $t_2 = 60$ с поступает команда на закрытие на 50%. Характер траектории движения направления в зависимости от задания говорит о правильных настройках контуров, что свидетельствует об адекватности полученной модели.

Результаты моделирования контура положения представлены на рисунке 35.

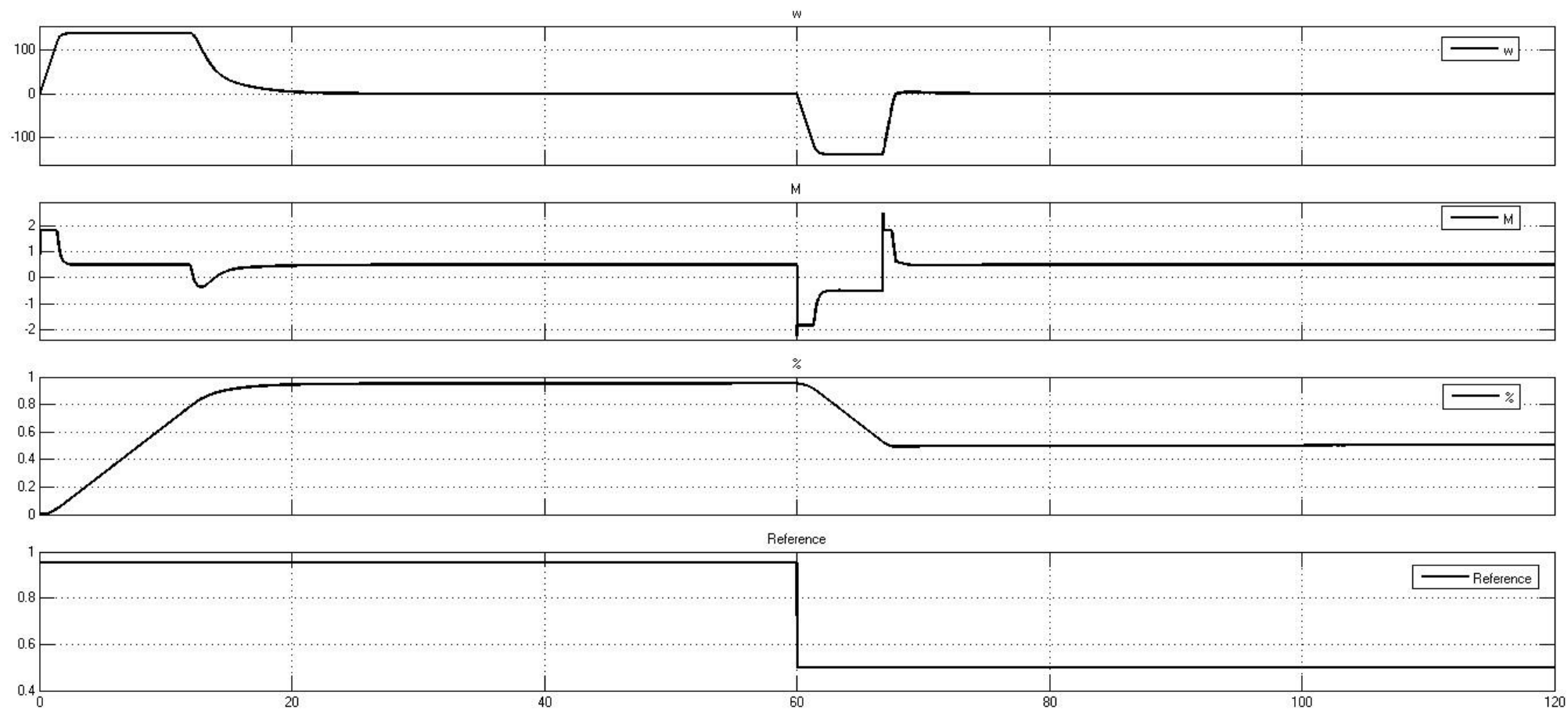


Рисунок 35 – Работа контура положения САУ

5.4 Динамические исследования процесса поддержания затрубного давления скважины

Смоделировав основные узлы, тем самым убедившись в их адекватной работе, были получены следующие графики переходных процессов затрубного давления в скважине в зависимости от внутреннего возмущения. Для этого моделировались такие ситуации, при которых давление внезапно поднималось на 30о.е. и 60о.е. при заданных 80о.е.

Форма такого возмущающего воздействия показана на рисунке 36.

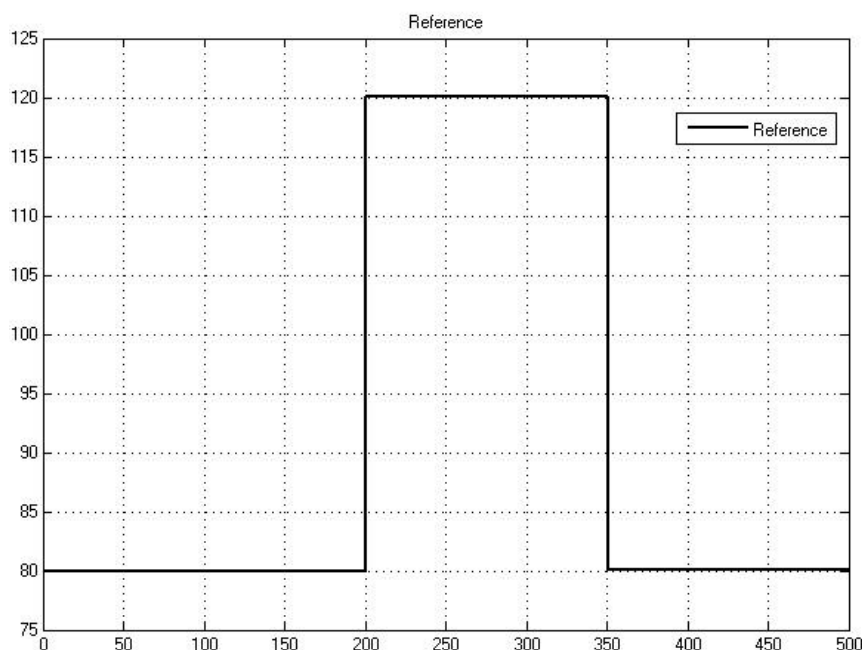


Рисунок 36 – Форма изменения давления

Смоделировав поведение САУ механизма дросселирования метаноугольной скважины, были получены следующие графики.

На рисунке 37 представлен процесс поддержания давления при повышении затрубного давления на 30 о.е.

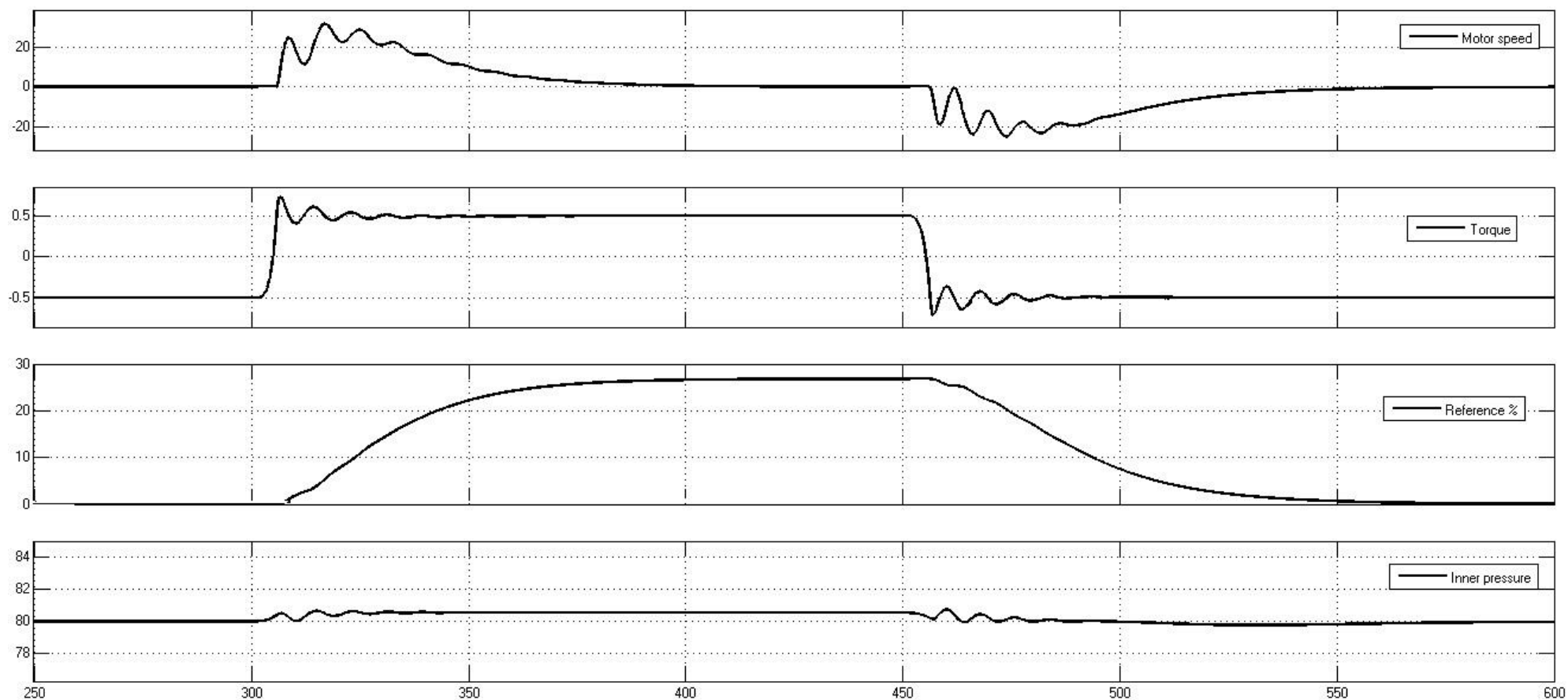


Рисунок 37 – График процессов, протекающих в скважине при скачке давления на 30 о.е

6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью данного раздела является обоснование целесообразного использования технического проекта, выполняемого в рамках выпускной квалификационной работы. В разделе рассматриваются планово-временные и материальные показатели процесса проектирования.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

1. Составление SWOT-анализа проектирования жилого комплекса с введением в эксплуатацию источников возобновляемой энергетики
2. Планирование технико-конструкторских работ
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей) эффективности проекта.

6.1 SWOT-анализ

SWOT - анализ является инструментом стратегического менеджмента. Представляет собой комплексное исследование технического проекта. SWOT - анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений в проектирование таких систем. В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Таблица 19 – Матрица SWOT

	Сильные стороны проекта: С1. Высокая энергоэффективность и энергосбережение технологии. С2. Экологичность технологии. С3. Внедрение инноваций. С4. Повышение надежности технологии С5. Рост потенциала возобновляемой энергетики	Слабые стороны проекта: Сл1. Сложность ремонта некоторых частей оборудования Сл2. Дороговизна оборудования Сл3. Сложность эксплуатации электрооборудования
Возможности: В1. Увеличение потребления ЭЭ В2. Появление дополнительной автоматизированной системы управления В3. Разработка средств автономных систем с ВИЭ В4. Прирост мощности энергосистемы	В1С1С3С5; В2С1С2С3С4С5; В3С2С3С5; В4С1С3С5;	В1Сл2; В2Сл1Сл2; В3Сл1Сл2Сл3; В4Сл2;
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на технологию У2. Импорт отдельных частей для конструкций У3. Введения дополнительных государственных требований к стандартизации и сертификации продукции У4. Угрозы выхода из строя оборудования	У1С1С3; У2С5; У3С5; У4С3	У1Сл2; У2Сл1Сл2; У3Сл2; У4Сл1Сл2Сл3;

Таблица 20 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны – возможности»

	Сильные стороны					
Возможности		<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>C3</i>	<i>C4</i>	<i>C5</i>
	<i>B1</i>	+	-	+	-	+
	<i>B2</i>	+	+	+	+	+
	<i>B3</i>	-	+	+	-	+
	<i>B4</i>	+	-	+	-	+

Таблица 20: B1C1C3C5; B2C1C2C3C4C5; B3C2C3C5; B4C1C3C5.

Каждая из записей представляет собой направление проекта. Например, энергосбережение технологий, эффективность реализации таких технологий, внедрение инноваций и рост потенциала энергии возобновляемых источников даст толчок для освобождения какой-то передаваемой мощности, которую можно использовать для строительства новых проектов. Следовательно, увеличится потребление электрической энергии, т.к. будет задействована энергия как традиционных источников, так и возобновляемых. Что касается других возможностей, то можно сделать вывод о том, что все сильные стороны проекта дают мощный толчок для развития, изучения и разработки новых технологий, которые способствуют улучшению комфорта жизни людей.

В случае, когда несколько возможностей сильно коррелируют с одними и теми же сильными сторонами, с большой вероятностью можно говорить об их единой природе. Здесь: B1B2B4C1C3C5.

Таблица 21 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны – угрозы»

	Сильные стороны					
Угрозы		<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>C3</i>	<i>C4</i>	<i>C5</i>
	<i>Y1</i>	+	-	+	-	-
	<i>Y2</i>	-	-	-	-	+
	<i>Y3</i>	-	-	-	-	+
	<i>Y4</i>	-	-	+	-	-

Таблица 21: Y1Y4C3; Y2Y3C5.

В любом проекте наряду с возможностями имеет место быть и угрозам. Это дает возможность адекватно оценивать ситуацию, быть готовым к каким-либо неблагоприятным для реализации проекта ситуациям. Например, иногда

для потребителей не представляет интереса новые технологии, и потребитель зачастую не имеет должного представления о приведенных в данном проекте разработках, поэтому не смотря на сильные стороны проекта есть угроза отсутствие спроса из-за неправильно представления. А рост потенциала возобновляемой энергетики может быть приторможен внедрением новых стандартов относительно ВИЭ, либо неимением своего оборудования необходимого уровня.

Таблица 22 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны – возможности»

	Слабые стороны			
Возможности		Сл1	Сл2	Сл3
	B1	-	+	-
	B2	+	+	-
	B3	+	+	+
	B4	-	+	-

Таблица 22: B2B3Сл1Сл2, B1B2B3B4Сл2.

Появление дополнительных систем и разработок в области возобновляемой энергетики может быть тесно связано с некоторыми сложностями. Например, можно столкнуться со сложностью ремонта каких-либо элементов системы или с их дороговизной.

Таблица 23 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны – угрозы»

	Слабые стороны			
Угрозы		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	-	+	-
	У2	+	+	-
	У3	-	+	-
	У4	+	+	+

Таблица 23: У2У4Сл1, У1У2У3У4Сл1Сл2.

На связь угроз и слабых сторон следует обратить особое внимание, т.к. любая слабая сторона может вылиться в угрозу для проекта в общем.

В рамках третьего этапа должен быть составлен итог SWOT-анализа, в котором указываются стратегические планы на дальнейшее развитие и

реализацию проекта. По результатам второго этапа можно выделить следующие основные задачи:

1. Внедрение автоматической системы сигнализации повреждения оборудования;
2. Внедрение новых технологий обнаружения неисправностей;
3. Внедрение нескольких источников поставки частей и материалов;
4. Обеспечение подготовки квалифицированных кадров для работы с новым оборудованием.

В результате анализа было установлено, что технический проект имеет такие важные преимущества как высокая энергоэффективность, повышенная надежность, экологичность, которые обеспечивают высокую производительность и экономичности технологического процесса.

Однако присутствует сложность ремонта отдельных частей оборудования, что приводит к большим затрат на поставку этих частей с заводов, что в свою очередь сопровождается большими затратами чем ремонт.

Главными факторами, влияющими на функциональное и бесперебойное электроснабжение потребителей, является обнаружение повреждений оборудования на ранних стадиях, когда ремонт или замена частей агрегатов не составляет больших затрат, как финансовых, так и временных.

6.2 Планирование научно-исследовательской разработки

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

1. определение структуры работ в рамках научного исследования;
2. определение участников каждой работы;
3. установление продолжительности работ;
4. построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры,

техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования проектирования жилого комплекса с источниками возобновляемой энергетики, провести распределение исполнителей, в состав которых входят руководитель и инженер, по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 3.2.1.1.

Таблица 24 – Перечень этапов работ при проектировании

Основные этапы	№	Содержание работ	Исполнитель
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания (схем моделирования, проектирования)	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме, примерный план работ	Руководитель
	3	Выбор направления оптимизационной задачи	Инженер
	4	Календарное планирование работ	Руководитель
Теоретические исследования	5	Разработка вариантов проектирования	Инженер
	6	Выбор программного обеспечения для расчетов	Инженер
	7	Сравнение возможных вариантов по ряду критериев	Инженер
	8	Расчет основных и аварийных принципов функционирования	Инженер
Обобщение и оценка результатов	9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
Разработка технической документации	10	Оценка надежности полученных результатов	Руководитель
	11	Вопросы безопасности и экологичности проекта	Инженер
Оформление отчёта по НИР	12	Составление пояснительной записки по проекту	Инженер

6.3 Определение трудоёмкости выполнения проектировочных работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ож_i}$ используется следующая формула:

$$t_{ож_i} = \frac{3 \cdot t_{\min_i} + 2 \cdot t_{\max_i}}{5};$$

где $t_{ож_i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

t_{\min} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

t_{\max_i} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Рассчитаем ожидаемое значение трудоёмкости для различных этапов:

$$t_{ож_1} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 5}{5} = 3,8 \text{ чел.} - \text{дн}; \quad t_{ож_2} = \frac{3 \cdot 5 + 2 \cdot 8}{5} = 6,2 \text{ чел.} - \text{дн};$$

$$t_{ож_3} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 3}{5} = 2,4 \text{ чел.} - \text{дн}; \quad t_{ож_4} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1,4 \text{ чел.} - \text{дн};$$

$$t_{ож_5} = \frac{3 \cdot 6 + 2 \cdot 8}{5} = 6,8 \text{ чел.} - \text{дн}; \quad t_{ож_6} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 3}{5} = 2,4 \text{ чел.} - \text{дн};$$

$$t_{ож_7} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 5}{5} = 3,8 \text{ чел.} - \text{дн}; \quad t_{ож_8} = \frac{3 \cdot 15 + 2 \cdot 20}{5} = 17 \text{ чел.} - \text{дн};$$

$$t_{ож_9} = \frac{3 \cdot 5 + 2 \cdot 8}{5} = 6,2 \text{ чел.} - \text{дн}; \quad t_{ож_{10}} = \frac{3 \cdot 5 + 2 \cdot 8}{5} = 6,2 \text{ чел.} - \text{дн};$$

$$t_{ож11} = \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 4}{5} = 3,4 \text{ чел.} - \text{дн}; \quad t_{ож12} = \frac{3 \cdot 5 + 2 \cdot 7}{5} = 5,8 \text{ чел.} - \text{дн};$$

Исходя из ожидаемой трудоёмкости определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях, учитывая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями, по следующей формуле:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i},$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

При проектировании и разработки моделей все действия выполняются последовательно, соответственно продолжительность каждой работы будет равна $T_{pi} = t_{ожi}$.

Наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал};$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}},$$

где $T_{кал}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Определим коэффициент календарности на 2018 год:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 126} = 1,527.$$

Тогда длительность первой работы в календарных днях:

$$T_{\text{к4}} = T_{\text{р4}} \cdot k_{\text{кал}} = 1,4 \cdot 1,527 = 2,138 \approx 2 \text{ дн.}$$

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе необходимо округлить до целого числа. Все рассчитанные значения сводим в таблицу 7.

Таблица 25 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ (чел-дни)			Длительность работ в рабочих днях $T_{\text{рi}}$	Длительность работ в календарных днях $T_{\text{кi}}$
	t_{min}	t_{max}	$t_{\text{ож}}$		
Составление и утверждение технического задания (схем моделирования, проектирования)	3	5	3,8	3,8	6
Подбор и изучение материалов по теме, примерный план работ	5	8	6,2	6,2	10
Выбор направления оптимизационной задачи	2	3	2,4	2,4	4
Календарное планирование работ	1	2	1,4	1,4	2
Разработка вариантов проектирования	6	8	6,8	6,8	10
Выбор программного обеспечения для расчетов	2	3	2,4	2,4	4
Сравнение возможных вариантов по ряду критериев	3	5	3,8	3,8	6
Расчет основных и аварийных принципов функционирования	15	20	17	17	26

Оценка эффективности полученных результатов	5	8	6,2	6,2	10
Оценка надежности полученных результатов	5	8	6,2	6,2	10
Вопросы безопасности и экологичности проекта	3	4	3,4	3,4	5
Составление пояснительной записки по проекту	5	7	5,8	5,8	9
Итого	55	81	65,4	65,4	102

На основании таблицы построим календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта.

Таблица 26 – Календарный план-график проведения исследований

№	Вид работы	Исполнители	Тк _і (кал. дн.)	Продолжительность выполнения работ									
				Февраль		Март			Апрель			Май	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Составление и утверждение технического задания (схем моделирования, проектирования)	Руководитель	6										
2	Подбор и изучение материалов по теме, примерный план работ	Руководитель	10										
3	Выбор направления оптимизационной задачи	Инженер	4										
4	Календарное планирование работ	Руководитель	2										
5	Разработка вариантов проектирования	Инженер	10										
6	Выбор программного обеспечения для расчетов	Инженер	4										
7	Сравнение возможных вариантов по ряду критериев	Инженер	6										
8	Расчет основных и аварийных принципов функционирования	Инженер	26										
9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	10										
10	Оценка надежности полученных результатов	Руководитель	10										
11	Вопросы безопасности и экологичности проекта	Инженер	5										
12	Составление пояснительной записки по проекту	Инженер	9										

Согласно составленному календарному плану с учетом вероятностного характера выполнения работ (благоприятный, неблагоприятный) продолжительность проектирования составляет 10 полных декад, начиная со первой декады февраля, заканчивая третьей декадой мая.

Далее, по диаграмме Ганта можно наглядно оценить показатели рабочего времени для каждого исполнителя. Продолжительность выполнения проекта в рабочих днях составит 102 дня, из которых 64 дней – продолжительность выполнения работ инженером, а 38 дней – продолжительность выполнения работ руководителем.

6.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды;
- накладные расходы.

В материальные затраты включают дополнительные затраты на канцелярские принадлежности, информационные носители, картриджи и т.п.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_m = \sum_{i=1}^m Ц_i \cdot N_{расх\ i} ,$$

где m – количество видов материальных ресурсов;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию (натур.ед.);

$Ц_i$ – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./натур.ед.).

Таблица 27 – Материальные затраты

Наименование	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, ($З_m$), руб.
Бумага	1	250	250
Ручка	2	84	168
Папка	1	50	50
Калькулятор	1	722	722
Итого			1190

При расчете материальных затрат не учитывались транспортные расходы, т.к. данные канцелярские принадлежности были доставлены на рабочее место самими исполнителями технического проекта.

6.5 Полная заработная плата исполнителей темы

Полная заработная плата включает основную и дополнительную заработную плату и определяется как:

$$З_{полн} = З_{осн} + З_{доп},$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Заработная плата инженера главного специалиста определяется как:

$$З_{п} = З_{осн} + З_{доп};$$

где $З_{доп}$ – дополнительная заработная плата, составляет $0,33 \cdot З_{осн}$;

$З_{осн}$ – основная заработная плата.

Размер основной заработной платы определяется по формуле:

$$З_{осн} = З_{он} \cdot T_p;$$

где $З_{он}$ – среднедневная заработная плата;

T_p – суммарная продолжительность работ, выполняемая научно-техническим работником.

Размер среднедневной заработной платы рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_M \cdot M}{F_D};$$

где Z_M – месячный оклад научно-технического работника;

M – количество месяцев работы без отпуска ($M = 10,95$ для пятидневной рабочей недели и отпуске в 32 рабочих дней);

F_D – действительный годовой фонд научно технического персонала (определяется за вычетом выходных, праздничных и больничных дней).

Месячный оклад научно-технического работника определяется по формуле:

$$Z_M = Z_{TC} \cdot (1 + k_{np} + k_D) \cdot k_p;$$

где Z_{TC} – заработная плата по тарифной ставке;

k_{np} – премиальный коэффициент, 0,3;

k_D – коэффициент доплат и надбавок, 0,35;

k_p – районный коэффициент, для наших исследуемых зон возьмем усредненный 1,55.

Размер заработной платы по тарифной ставке определяется по формуле:

$$Z_{TC} = T_{ci} \cdot k_T;$$

где T_{ci} – тарифная ставка работника;

k_T – тарифный коэффициент в зависимости от ставки.

С помощью представленных выше формул находим основную заработную плату руководителя НТИ:

$$Z_{TC} = T_{ci} \cdot k_T = 27500 \cdot 1,407 = 38692,5 \text{ руб};$$

$$Z_M = Z_{TC} \cdot (1 + k_{np} + k_D) \cdot k_p = 38692,5 \cdot (1 + 0,3 + 0,35) \cdot 1,55 = 98956,07 \text{ руб};$$

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot М}{F_{\text{д}}} = \frac{98956,07 \cdot 10,95}{365 - 126} = 4533,76 \text{ руб}$$

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot T_p = 4533,76 \cdot \frac{300}{480} = 3400,32 \text{ руб};$$

$$З_{\text{п}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}} = З_{\text{осн}} + 0,15 \cdot З_{\text{осн}} = 3400,32 + 0,15 \cdot 3400,32 = 3910,37 \text{ руб}.$$

По аналогии рассчитаем заработную плату инженера:

$$З_{\text{ТС}} = T_{\text{ci}} \cdot k_T = 23000 \cdot 1 = 23000 \text{ руб};$$

$$З_{\text{м}} = З_{\text{ТС}} \cdot (1 + k_{\text{np}} + k_{\text{д}}) \cdot k_p = 23000 \cdot (1 + 0,3 + 0,25) \cdot 1,55 = 55257,5 \text{ руб};$$

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot М}{F_{\text{д}}} = \frac{55257,5 \cdot 10,95}{365 - 126} = 2531,67 \text{ руб}$$

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot T_p = 2531,67 \cdot 1 = 2531,67 \text{ руб};$$

$$З_{\text{п}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}} = З_{\text{осн}} + 0,2 \cdot З_{\text{осн}} = 2531,67 + 0,2 \cdot 2531,67 = 3038 \text{ руб}.$$

6.6 Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}),$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На основании пункта 1 ст.58 Федерального закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2018 году вводится пониженная ставка – 30,2 %.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$З_{внеб1} = 0,302 \cdot (3910,37) = 1180,93 \text{ руб.}$$

$$З_{внеб2} = 0,302 \cdot (3038) = 917,48 \text{ руб.}$$

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергия, почтовые и телеграфные расходы и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$\begin{aligned} З_{накл} &= З_{проч.} \cdot k_{нр} = (З_{спец} + З_{осн} + З_{доп} + З_{внеб}) \cdot 0,16 = \\ &= (1190 + 5932 + 1016 + 2098) \cdot 0,16 = 1638 \text{ руб} \end{aligned}$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величина коэффициента накладных расходов принимается в размере 16%.

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку проекта.

Определение суммы затрат на технический проект приведено в таблице 10.

Таблица 28 – Смета затрат технического проекта

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Доля, %
1. Материальные затраты	1,19	10,02
2. Затраты по полной заработной плате исполнителей темы	6,948	58,51
3. Отчисления во внебюджетные фонды	2,098	17,67
4. Накладные расходы	1,638	13,8
<i>Итого</i>	11,874	100,0

Смета затрат на разработку технического проекта составляет 11,874 тыс.руб, из которых более половины (58,51 %) составляют затраты на оплату труда исполнителей проекта. Все результаты проекта оказались ожидаемы и могут быть реализованы.

Оценка конкурентоспособности и ресурсоэффективности проекта

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики проекта;
- конкурентоспособность проекта;
- уровень завершенности научного исследования (наличие макета, прототипа, модели и т.п.);
- бюджет разработки и т.д.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научного проекта и определить направления для его будущего повышения и реализации. Для такой оценки были подобраны критерии эффективности такие как: экономичность, гибкость, надежность, экологичность, качество электроэнергии, безопасность.

1. Экономичность – оптимизация затрат на электрическую энергию на стадии проектирования приводит к уменьшению потерь мощности на доли процентов.

2. Гибкость – возможность наращивания потребления электрической энергии, при вводе дополнительных объектов на территории жилого комплекса для улучшения условий жизни населения.

3. Надежность – критерий, характеризующий время перерывов электроснабжения. Основная задача – обеспечить бесперебойное электроснабжение потребителей.

4. Экологичность характеризуется количеством загрязняющих атмосферу веществ.

5. Под обеспечением надлежащего качества электроэнергии понимаются характеристики, определенные в ГОСТ 32144-2013 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».

6. Безопасность – это свойство системы электроснабжения сохранять безопасное состояние при монтаже, эксплуатации и ремонтных работах.

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 3.4.1.

Таблица 29 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки	Конкурентоспособность
1. Качество ЭЭ	0,2	5	1,00
2. Надежность	0,2	5	1,00
3. Безопасность	0,23	5	1,15
4. Экономичность	0,12	4	0,48
5. Гибкость	0,2	5	1,00
6. Экологичность	0,05	4	0,2
<i>Итого:</i>	1,00		4,83

Позиция оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Значения показателей, определяемые экспертным путем, в сумме составляют 1.

Анализ конкурентоспособности проекта определяется согласно выражению:

$$K = \sum B_i \cdot B_i,$$

где K – конкурентоспособность научной разработки;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Тогда

$$K_{k\Sigma} = 0,2 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,23 \cdot 5 + 0,12 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 + 0,05 \cdot 4 = 4,83$$

Показатель конкурентоспособности проекта достаточно высок (по 5-балльной шкале), что свидетельствует положительной оценке использования технического проекта. В результате выполнения поставленных задач по данному разделу можно сделать следующие вывод о том, что реализация данного технического проекта позволяет внедрять технологию производства и увеличивать эффективность как ремонтно-механического цеха, так и базы в целом.

7 Социальная ответственность

Проведение добычи природного газа в скважинах методом инъекционного теста основано на подаче воды в угольный пласт с избыточным давлением и регистрации изменения давления в процессе нагнетания и ожидания его спада. При обработке результатов исследований с использованием специализированного программного пакета инъекционный тест позволяет определить водопроницаемость, емкостной коэффициент исследуемого угольного пласта и степень ее загрязнения на различных стадиях разработки скважины. За всеми этими данными наблюдает оператор при помощи персонального компьютера.

7.1 Производственная безопасность

Согласно ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [1] в помещении лаборатории на разработчика могут негативно действовать следующие опасные и вредные производственные факторы (ОВПФ):

К опасным производственным факторам относятся (ОПФ):

- опасность поражения электрическим током;

К вредным производственным факторам относят (ВПФ):

- повышенная и пониженная температура воздуха рабочей зоны;
- повышенная или пониженная подвижность воздуха;
- отсутствие или недостаток естественного света;
- повышенная интенсивность теплового излучения рабочей зоны;
- повышенная и пониженная влажность воздуха;
- недостаточная освещенность рабочей зоны;
- повышенный уровень статического электричества;
- повышенная яркость света;
- повышенный уровень электромагнитных излучений;

- повышенный уровень шума.

Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности

Микроклимат рабочей зоны

Согласно нормативно-технической документации при нормировании параметров микроклимата выделяют холодный период года, характеризуемый среднесуточной температурой наружного воздуха, равной $+10^{\circ}\text{C}$ и ниже и теплый период года, характеризуемый среднесуточной температурой наружного воздуха выше $+10^{\circ}\text{C}$. Разграничение работ по категориям осуществляется на основе интенсивности общих энерготрат организма в ккал/ч (Вт). [2]

Микроклимат производственных помещений – это климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха. Лаборатория является помещением Ia категории (с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч, производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением), Согласно [2] параметры микроклимата должны соответствовать таблицам 1 и 2:

Таблица 30 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		Ниже оптимальных величин	Выше оптимальных величин			Ниже оптимальных величин, не более	Выше оптимальных величин, не более
Холодный	Іа	20-21,9	24,1-25	19-26	15-75	0,1	0,1
Теплый	(до 139)	21-22,9	25,1-28	20-29	15-75	0,1	0,2

Таблица 31 – Допустимые величины интенсивности теплового излучения

Облучаемая поверхность тела, %	Интенсивность теплового излучения, Вт/м ² , не более
50 и более	35
25-50	70
Не более 25	100

Одним из факторов влияющим на микроклимат на предприятии являются источники тепла, к ним относится вычислительное оборудование, приборы освещения, а также солнечная радиация. Причем наибольшие суммарные тепловыделения дают ЭВМ в среднем до 80 %. От приборов освещения тепловыделения составляют в среднем 12%, от обслуживающего персонала – 1%, от солнечной радиации – 6%. Приток теплоты через непрозрачные ограждающие конструкции составляет – 1%.

Для поддержания соответствующих микроклиматических параметров в помещении используются системы отопления и вентиляции [7].

Система отопления обеспечивает достаточное постоянное и равномерное нагревание воздуха в помещении в холодный период года, а также пожаро- и взрывобезопасность. Систему отопления рассчитывают на

возмещение потерь теплоты через ограждающие конструкции здания, на нагрев проникающего в помещение холодного воздуха.

В помещении предприятия используется водяная система отопления. Достоинством данной системы отопления является то, что она гигиенична, надежна в эксплуатации, и обеспечивает возможность регулирования температуры в широких пределах.

Для обеспечения установленных норм микроклиматических параметров и чистоты воздуха в помещении предприятия применяют систему естественной вентиляции, но для обеспечения наиболее комфортных условий работы в весенне-летнее время года этого недостаточно. Поэтому предлагается установка вентиляторов или системы кондиционирования. Система кондиционирования воздуха предназначена для поддержания постоянной температуры, влажности и очистки воздуха от загрязнения вредными веществами.

Вредным веществом, содержащимся в воздухе является углекислый газ, CO₂. Проблему уменьшения содержания CO₂ в воздухе также можно решить с помощью системы кондиционирования.

Повышенный шум

Действие шума на организм человека не ограничивается влиянием на организм человека. Повышенный шум влияет на нервную и сердечнососудистую системы, репродуктивную функцию человека, вызывает раздражение, нарушение сна, утомление, агрессивность, способствует психическим заболеваниям. Эквивалентный уровень звука не должен превышать 50 дБА.[4]

В качестве защиты от шума и звука следует выполнять следующее:

- применять нормирование;
- проводить оценку риска потери слуха работником;

- проектировать рабочие места с учетом допустимого уровня риска;
- использование малошумных машин;
- оптимально размещать шумные машины, позволяющие минимизировать воздействие шума на рабочем месте;
 - проведение периодического контроля шума на рабочих местах и организация на основе полученных результатов режима труда, способствующего снижению шумовой нагрузки на работника, а также контроль за его соблюдением;
 - некоторые технические тонкости (звукоизоляцию, звукопоглощение, специальные глушители аэродинамического шума);
 - применять средства индивидуальной защиты (наушники, беруши, противозумные каски, специальная противозумная одежда).

Таблица 32 – Допустимые уровни шума

Уровни звукового давления (дБ) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, по дБА
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Освещение

Оценка освещенности рабочей зоны необходима для обеспечения нормированных условий работы в помещениях и проводится в соответствии с СанПин 2.2.2/2.4.1340-03. [5]

Для общего и местного искусственного освещения следует использовать источники света с цветовой коррелированной температурой от 2400°K до 6800°K.

Световые приборы для общего и местного освещения, предназначенные к эксплуатации со светодиодами, должны иметь защитный угол, исключающий попадание в поле зрения прямого излучения.

Большое влияние на работоспособность человека оказывает освещение производственного помещения. При недостаточном освещении человек работает менее продуктивно, быстро устает, растет вероятность его ошибочных действий.

Искусственное освещение в помещениях для эксплуатации ПЭВМ должно осуществляться системой общего равномерного освещения. В производственных и административно-общественных помещениях, в случаях преимущественной работы с документами, следует применять системы комбинированного освещения (к общему освещению дополнительно устанавливаются светильники местного освещения).

По СанПин 2.2.2/2.4.1340-03 освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего места должна быть в пределах $300 \div 500$ лк, что может достигаться установкой местного освещения. Местное освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк. За счет правильного выбора типов и расположения (с боку от рабочего места) светильников, яркость бликов на экране ПВЭМ не должна превышать 40 кд/м^2 . Светильники местного освещения должны иметь не просвечивающий отражатель с защитным углом не менее 40 градусов. Нормы естественного и искусственного освещения представлены в СНиП 23-05-95.

Помимо этого, нормируются светотехнические параметры дисплея, размеры монитора и символов, цветовые параметры, яркость дисплея, частота обновления кадров, которые влияют на состояние зрения. Низкая освещенность дисплея ухудшает восприятие информации, а слишком высокая приводит к уменьшению контраста изображения знаков, что вызывает усталость глаз. Основными осложнениями при длительной работе на компьютере являются утомление глаз, и возникновение головной боли.

Существенным фактором, влияющим на утомление глаз, является частота перевода взгляда с дисплея на клавиатуру.

Таблица 33 – Допустимые визуальные параметры устройств отображения информации

№	Параметры	Допустимые значения
1	Яркость белого поля	Не менее 35 кд/кв.м
2	Неравномерность яркости рабочего поля	Не более $\pm 20\%$
3	Контрастность (для монохромного режима)	Не менее 3:1
4	Временная нестабильность изображения (непреднамеренное изменение во времени яркости изображения на экране дисплея)	Не должна фиксироваться
5	Пространственная нестабильность изображения (непреднамеренные изменения положения фрагментов изображения на экране)	Не более $2 \times 10(-4L)$, где L - проектное расстояние наблюдения, мм

Повышенный уровень электромагнитных излучений

Электромагнитным излучением называется излучение, прямо или косвенно вызывающее ионизацию среды. Контакт с электромагнитными излучениями представляет серьезную опасность для человека.

Спектр излучения компьютерного монитора включает в себя рентгеновскую, ультрафиолетовую и инфракрасную области, а также широкий диапазон электромагнитных волн других частот. В ряде экспериментов было обнаружено, что электромагнитные поля с частотой 50 Гц (возникающие вокруг линий электропередач, видеодисплеев и даже внутренней электропроводки) могут инициировать биологические сдвиги (вплоть до нарушения синтеза ДНК) в клетках животных. В отличие от рентгеновских лучей электромагнитные волны обладают необычным свойством: опасность их воздействия совсем не обязательно уменьшается при снижении интенсивности облучения, определенные электромагнитные поля действуют на клетки лишь при малых интенсивностях излучения или на конкретных частотах - в “окнах прозрачности”.

ПЭВМ являются источниками таких излучений как:

- мягкого рентгеновского;
- ультрафиолетового 200-400 нм;

- видимого 400-700 нм,
- ближнего инфракрасного 700-1050 нм;
- радиочастотного 3 кГц-30 МГц;
- электростатических полей;

Ультрафиолетовое излучение полезно в небольших количествах, но в больших дозах приводит к дерматиту кожи, головной боли, рези в глазах. Инфракрасное излучение приводит к перегреву тканей человека (особенно хрусталика глаза), повышению температуры тела. Уровни напряженности электростатических полей должны составлять не более 20 кВ/м. Поверхностный электростатический потенциал не должен превышать 500В. В таблице 5 представлены временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ [3]:

Таблица 34 – Предельные допустимые уровни ЭМП, создаваемые ПЭВ

Наименование параметров		ВДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	В диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	25 В/м
	В диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	В диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	250 нТл
	В диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	25 нТл
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500

На расстоянии 5 см от экрана ВТ интенсивность электромагнитного излучения составляет 28-64 В/м в зависимости от типа прибора. Эти значения снижаются до 0,3-2,4 В/м на расстоянии 30 см от экрана (минимальное расстояние глаз оператора до плоскости экрана).

Защита обеспечивается выбором конкретных методов и средств, учетом их экономических показателей, простотой и надежностью эксплуатации.

Организация этой защиты подразумевает:

- оценку уровней интенсивности излучений на рабочих местах и их сопоставление с действующими нормативными документами;
- выбор необходимых мер и средств защиты, обеспечивающих степень защищенности в заданных условиях;
- организацию системы контроля над функционирующей защитой.

При повышенном уровне напряженности полей следует сократить время работы за компьютером, делать пятнадцатиминутные перерывы в течении полутора часов работы и, конечно же, применять защитные экраны. Защитный экран, изготавливаемый из мелкой сетки или стекла, собирает на себе электростатический заряд. Для снятия заряда экран монитора заземляют.

7.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды

7.2.1 Электроопасность

Помещение лаборатории по опасности поражения электрическим током можно отнести к помещениям без повышенной опасности (сухое, беспыльное, с нормальной температурой воздуха и изолированными полами). [7]

Опасное и вредное воздействие на людей электрического тока, электрической дуги и электромагнитных полей проявляется в виде электротравм и профессиональных заболеваний.

Электрический ток представляет значительную опасность для здоровья человека непосредственно при контакте человека с токопроводящей поверхностью.

Прохождение электрического тока через тело человека вызывает поражение различных органов, оказывает воздействие на нервную систему, кровеносно-сосудистую систему человека, на кровь, сердце, мозг и т.д. Виды воздействий электрического тока на организм человека:

- термическое воздействие тока проявляется в ожогах, нагрев кровеносных сосудов, сердца, мозга и других органов, находящихся на пути протекания тока до критической температуры;
- электролитическое действие тока выражается в разложении крови, что нарушает ее состав и функции;
- механическое действие тока проявляется в значительном давлении в кровеносных сосудах и мышечных тканях;
- биологическое действие тока проявляется в раздражении живых тканей, что вызывает реакцию организма – возбуждение, что и обуславливает непроизвольное сокращение мышц.

Степень опасного и вредного воздействия на человека электрического тока, электрической дуги и электромагнитных полей зависит от:

- Рода и величины напряжения и тока;
- Частоты электрического тока;
- Пути тока через тело человека;
- Продолжительности воздействия на организм человека.

Электробезопасность в помещении лаборатории обеспечивается техническими способами и средствами защиты, а также организационными и техническими мероприятиями.

Рассмотрим основные причины поражения человека электрическим током на рабочем месте:

- Прикосновение к металлическим нетоковедущим частям (корпусу, периферии компьютера), которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции;
- Нерегламентированное использование электрических приборов;
- Отсутствие инструктажа сотрудников по правилам электробезопасности.

В течение всего рабочего дня на корпусе компьютера накапливается статическое электричество. На расстоянии 5-10 см от экрана напряженность электростатического поля составляет 60-280 кВ/м, то есть в 10 раз превышает норму 20 кВ/м. Для уменьшения напряжённости применять применение увлажнители и нейтрализаторы, антистатическое покрытия пола.

Кроме того, при неисправности каких-либо блоков компьютера корпус может оказаться под током, что может привести к электрическим травмам или электрическим ударам. Для устранения этого я предлагаю обеспечить подсоединение металлических корпусов оборудования к заземляющей жиле.

Электробезопасность в лаборатории обеспечивается техническими способами и средствами защиты, а также организационными и техническими мероприятиями.

Основным организационным мероприятием является инструктаж и обучение безопасным методам труда, а также проверка знаний правил безопасности и инструкций в соответствии с занимаемой должностью применительно к выполняемой работе.

Для обеспечения защиты от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции, рекомендуется применять защитное заземление.

7.2.2 Защита от случайного прикосновения

Для исключения возможности случайного прикосновения или опасного приближения к токоведущим частям в цехах завода обеспечивается их недоступность путем ограждения, блокировок или расположения токоведущих частей на недоступную высоту.

Заземление корпуса ЭВМ обеспечено подведением заземляющей жилы к питающим розеткам. Сопротивление заземления 4 Ом, согласно [7] для электроустановок с напряжением до 1000 В.

7.2.3 Защитное заземление

Защитное заземление – преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением вследствие замыкания на корпус и по другим причинам (индуктивное влияние соседних токоведущих частей, вынос потенциала, разряд молнии и т. п.). Основное назначение защитного заземления – устранение опасности поражения персонала электрическим током при появлении напряжения на конструктивных частях электрооборудования.

7.3 Экологическая безопасность

В данном подразделе рассматривается характер воздействия проектируемого решения на окружающую среду. Выявляются предполагаемые источники загрязнения окружающей среды, возникающие в результате реализации предлагаемых в ВКР решений.

Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

Объектом исследования является программное обеспечение – программный реализуемый алгоритм, позволяющий производить управление характеристиками электрической нагрузки оборудования и как таковой не может нанести отрицательного влияния на окружающую среду. Но в данном подразделе целесообразно рассмотреть влияние, оказываемое компьютерной техникой, которая используется потребителями данного ПО.

По данным исследований, обыкновенные персональные компьютеры загрязняют окружающую среду не хуже автомобилей. Работающий компьютер деионизирует окружающую среду и уменьшает влажность воздуха. Ученые подсчитали, что сейчас, когда человечество выбрасывает в атмосферу огромное количество углекислого газа, 2% всех выбросов приходится на электронику. Когда серверу приходится работать, в окружающую среду выделяется очень большое количество тепла и углекислого газа.

В первую очередь, необходимо повышать качество персональных компьютеров, за счёт установки на них нового программного обеспечения.

Таким образом, материнские платы, мощные блоки и сервера, затрачивая меньшее количество энергии, будут обеспечивать большую производительность, что должно привести к снижению темпов роста выбросов углекислоты. Также необходимо использовать более эффективные источники питания и использовать менее мощные компоненты системы.

Каждый персональный компьютер содержит не только ценные цветные металлы, но и целый набор опасных для окружающей среды веществ. Это производные газов, тяжелые металлы, среди которых кадмий, ртуть и свинец. Попадая на свалку, все эти вещества под воздействием внешней среды постепенно проникают в почву, отравляют воздух и воду. [9]

Компьютеры не подпадают под общее положение, они должны быть утилизированы в определенном порядке и только на предприятиях, имеющих официальные разрешения на переработку опасных отходов и металлолома.

Особый порядок утилизации представлен ниже:

- Составление акта технической экспертизы, подтверждающего, что техника уже вышла из строя и не подлежит ремонту либо же что ремонт её уже нецелесообразен.
- Составление акта списания компьютерной техники с обязательным отображением в бухгалтерском учете предприятия.
- Утилизация техники на соответствующем предприятии, имеющем право на переработку компьютеров.
- Получение официального подтверждения в виде документа, сообщающего о том, что техника была утилизирована в соответствующем порядке и опасные отходы не будут загрязнять окружающую среду.

7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС

На территории расположения здания, где находится лаборатория, возможны развития следующих чрезвычайных ситуаций в таблице 34:

Таблица 35 – Возможные ЧС

Природные	Социально-политические	Военные	Техногенные
Землетрясение	Терроризм	Война	Химические
Наводнение			Радиационные
Ураган			Пожары
Гидрометеорологические			

Наиболее вероятная чрезвычайная ситуация, которая может возникнуть во время разработки программного обеспечения идентификации статических характеристик нагрузки – пожар.

Пожар – неконтролируемое горение, приводящее к ущербу и возможным человеческим жертвам. Согласно Федеральному закону № 123-ФЗ от 22.07.2008 года «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [10] степень огнестойкости зданий принимается в зависимости от их назначения, категории по взрывопожарной и пожарной опасности, этажности, площади этажа в пределах пожарного отсека.

По конструктивным характеристикам здание, в котором находится лаборатория, можно отнести к зданиям с несущими и ограждающими конструкциями из естественных или искусственных каменных материалов, бетона или железобетона, где для перекрытий допускается использование деревянных конструкций, защищенных штукатуркой или трудногорючими листовыми, а также плитными материалами. Следовательно, степень огнестойкости здания можно определить, как третью (III).

Помещение лаборатории по функциональной пожарной опасности относится к классу Ф 4.3 – здания органов управления учреждений, проектно-конструкторских организаций, информационных и редакционно-издательских организаций, научных организаций, банков, контор, офисов.

Пожар в лаборатории, может привести к очень неблагоприятным последствиям (потеря ценной информации, порча имущества, гибель людей и т.д.), поэтому необходимо: выявить и устранить все причины возникновения пожара; разработать план мер по ликвидации пожара в здании; план эвакуации людей из здания.

Причинами возникновения пожара могут быть:

- неисправности электропроводки, розеток и выключателей, которые могут привести к короткому замыканию или пробое изоляции;
- использование поврежденных (неисправных) электроприборов;
- использование в помещении электронагревательных приборов с открытыми нагревательными элементами;
- возникновение пожара вследствие попадания молнии в здание;
- возгорание здания вследствие внешних воздействий;
- неаккуратное обращение с огнем и несоблюдение мер пожарной безопасности.

Профилактика пожароопасной ситуации (пожара)

Обеспечение пожарной безопасности является приоритетной задачей для руководителя любого объекта. Лучше предотвратить чрезвычайное происшествие, чем устранять его последствия. Это правило уже проверено годами во всех странах. Требуется не просто сберечь материально - технические ценности. Гораздо важнее позаботиться о безопасности людей, работающих или проживающих в конкретной профильной зоне расположения.

В принципе, профилактика пожаров - это задача, которую контролирует само государства, инициируя разработку специальной, законодательной базы. Сюда входит огромное количество мероприятий, таких как постоянные, инспекторские проверки, организации обучения

персонала нормам пожарной безопасности, разработка технических средств контроля.

Действия при возникновении пожароопасной ситуации (пожара)

При возникновении пожароопасной ситуации или пожара, персонал должен немедленно сообщить об этом по телефону 01 и спокойно объяснить: что горит, чему угрожает; адрес объекта; есть ли опасность для людей; назвать свою фамилию; немедленно обесточить всю электротехнику в помещении; обеспечить эвакуацию людей.

Основные меры защиты от пожара это:

- 1) Ограничение количества горючих веществ в производственном помещении, изоляция (герметизация) горючей среды.
- 2) Устранение возможных источников зажигания: электрических искр, нагрева оболочек оборудования, искр от удара инструмента, статического электричества и т. п.
- 3) Применение конструкций зданий, в том числе стен, колонн, перекрытий и т. п., определенной огнестойкости (например, в течение 0,25—2,5 ч) и горючести (несгораемые, трудносгораемые, сгораемые). Применение огнестойких покрытий конструкций в помещениях (окраска, облицовка, специальная пропитка).
- 4) Устройство противопожарных преград, противодымной защиты.
- 5) Устройство путей эвакуации людей в случае пожара.
- 6) Противопожарный режим на электростанции.
- 7) Пожарная охрана и сигнализация.

Помещения с электрооборудованием должны быть оснащены огнетушителями типа ОУ-2, ОУ-5 или ОП-5 (предназначены для тушения любых материалов, предметов и веществ, а также электроустановок, находящихся под напряжением до 1000 В, применяется для тушения ПК и оргтехники). При пожаре поднести огнетушитель как можно ближе к огню,

направить раструб в очаг пожара, сорвать пломбу (выдернуть чеку), открыть вентиль, нажать на пусковой рычаг, направить струю выходящего газа на огонь.

При тушении пожаров в электроустановках возникает опасность поражения электрическим током. Необходимо отключить напряжение, прежде чем приступать к тушению пожара. Поражение электрическим током может наступить в результате ГОСТ 12.2 037-78:

- непосредственного прикосновения к токоведущим частям, находящимся под напряжением;
- прохождения тока утечки через тело человека;
- попадание под шаговое напряжение.

В каждом кабинете должна быть разработана инструкция о конкретных мерах пожарной безопасности, противопожарном режиме и план эвакуации персонала из помещений.

Пути эвакуации персонала категорически запрещается загромождать оборудованием. На путях эвакуации устанавливаются указатели и световые табло.

Каждый случай пожара (возгорания) должен расследоваться в соответствии с «Инструкцией по расследованию и учету пожаров, происшедших на объектах энергетики» специально назначенной комиссией для установления причин, убытков, виновников возникновения пожара (возгорания) и разработки противопожарных мероприятий для других объектов.

7.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Специальные правовые нормы трудового законодательства

Согласно Трудовому кодексу Российской Федерации каждый сотрудник имеет право на:

- Рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- Обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
- Отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;
- Обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- Медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;

7.6 Организационные вопросы обеспечения безопасности

1) Требования к организации рабочих мест с использованием ПЭВМ:

При выборе помещений для установки и расположения компьютерной техники необходимо выполнить ряд требований для нормальной электромагнитной обстановки на рабочих местах:

- Помещение должно быть удалено от посторонних источников ЭМП, все крупные металлические предметы (решетки на окнах, металлические шкафы, сейфы и т.д.) должны быть заземлены;

- Групповые рабочие места пользователей ПК желательно размещать, на нижних (1-3) этажах зданий, поскольку они в наибольшей степени экранированы соседними зданиями от постороннего воздействия радиоволн;

- Должно быть обеспечено надежное заземление (или трехпроводная сеть с третьим, соединенным с землей проводом), подводимое к каждому рабочему месту.

Площадь помещения на одного работника должна составлять не менее 6 м², а объем помещения не менее 20-24 м³ при его высоте 4 м.

Нужно избегать расположения рабочего места с ПК в углах комнаты или лицом к стене (расстояние от ПК до стены должно быть не менее 1 м).

2) Требования к организации работы с компьютером

Продолжительность работы с ПК при вводе данных, редактировании программ, чтении информации с экрана не должна превышать 4 часов при 8- часовом рабочем дне. Через каждый час работы должен делаться перерыв на 5-10 минут, а через 2 часа – перерыв на 15 минут. В ночное время (с 22 до 6 ч) продолжительность регламентируемых перерывов увеличивают на 30%.

Для предупреждения преждевременной усталости рекомендуется чередовать работу с ПЭВМ и без нее.

Правильная поза и положение рук оператора являются весьма важными для исключения нарушений в опорно-двигательном аппарате и возникновения синдрома постоянных нагрузок. Правильная позиция оператора за компьютером:

- Расстояние от видеомонитора до глаз пользователя в пределах 500-700 мм;

- Уровень глаз на 15-20 см выше центра экрана; вертикальная позиция тела, обеспечивающая максимальный приток кислорода ко всем частям тела;

- Задняя поверхность бедер соприкасается с сиденьем; колено и бедро на одной линии, что позволяет избежать напряженности мышц ног;

- Обе ступни на полу, что обеспечивает хорошую релаксацию и отсутствие напряженности мышц тела, а также лучшую циркуляцию крови;

- Плечи опущены и расслаблены, благодаря чему руки также будут расслабляться;

- Запястья и локти на одной линии, пальцы ниже или на уровне запястий, при этом они обладают наибольшей свободой передвижения.

Рабочий стул (кресло) должно иметь регулировку высоты, угла наклона сиденья и спинки, полумягкое, нескользящее, слабо электризующееся и воздухопроницаемое покрытие.

Статическое напряжение мышц шеи приводит к снижению интенсивности кровообращения только в этой области, но и головного мозга, следствием чего являются головные боли.

Заключение

В процессе разработки асу была выбрана оптимальная схема реализации с установкой дросселя в устье скважины, которая позволила уменьшить нагрузку на используемое оборудование и увеличить его срок эксплуатации. Произведен выбор современного оборудования отечественных производителей, которые в полной мере отвечает всем требованиям газодобычи. Регулируемый электропривод управления дросселем реализованный по схеме ПЧ-АД с векторным способом управления в полной мере удовлетворяет требованиям технологического процесса. На основании схемы имитационной модели автоматизации процесса дросселирования метаноугольной скважины, реализуемой в программной среде Matlab, был реализован полный цикл процесса поддержания давления, который показал, что такая система работает в автоматическом режиме и обеспечивает постоянство давления, даже при значительных изменении внутренних параметров самой скважины. Из всего выше изложенного можно сказать, что система автоматизированного управления в полной мере отвечает всем требованиям технологии процесса проведения добычи.

Список использованной литературы

1. Останин В.А., Пешков В.Е., Крохалев И.В. Обоснование рационального комплекса гидродинамических исследований водоносных горизонтов // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321. – No 1. – С. 129–132
2. Load balancing of two-motor induction electric drive [Electronic resources] / I. G. Odnokopylov [et al.] // Control and Communications (SIBCON) : International Siberian Conference on Russia, Omsk, May 21-23, 2015 [proceedings]. — [S. l.]: IEEE, 2015. — [4 p.].
4. ГОСТ 32144-013. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Введен 01. 07. 2014.
5. Видянев И.Г., Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: Учеб. – метод. пособие. - Томск: Изд-во ТПУ, 2014. – 36 с.
6. Крепша Н.В., Свиридов Ю.В. Безопасность жизнедеятельности: Учеб. – метод. пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2003. – 145 с.
7. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
8. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны
9. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
10. Федосова В.Д. расчет искусственного освещения: Методич. указания. – Томск: Изд – во ТПУ, 1991. – 23 с.
11. ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
12. ГОСТ 12.1.012-90. Вибрационная безопасность.
13. ГОСТ 12.1.009-76. ССБТ. Электробезопасность. Термины и определения.

14. ГОСТ 12.1.033-81. ССБТ. Пожарная безопасность. Термины и определения. 18. Правила электроустановок ПУЭ.

15. Охрана окружающей среды. Под ред. С.В. Белова. / М.: Высшая школа, 1991. – 128с.

16. Как утилизировать бытовую технику и электронику – [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://www.ecorb.ru/70>

17. ГОСТ 12.1.010 – 76. Основы противопожарной защиты предприятий.

18. А.Ю. Чернышев, Ю.Н. Дементьев, И.А. Чернышев. Электропривод переменного тока: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 213 с.

19. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов - [Электронный ресурс] – режим доступа: http://portal.tpu.ru/SHARED/u/UDUT/Student/Tab1/Freq_conv_IM_1.pdf 24.

Белов М. П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов — 3-е изд., испр. — М. : 2007. — 576 с.

20. Черноштан В.И. Минимальный допустимый перепад давления на регулирующем органе трубопроводной системы / В.И. Черноштан, Э.Е. Благоев // -2011.-№4. - С. 36-40

21. Удут Л. С. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов: учебное пособие. Ч. 8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод /Л.С. Удут, О.П. Мальцева, Н.В. Кояин; Томский политехнический университет. –2-е изд., перераб. и доп. – Томск: изд-во Томского политехнического университета, 2014. –648 с.

22. Лезнев Б. С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных установках. М.: ИК «Ягорба»-Биоинформсервис, 1998.

Приложение А

Induction drive for methane-coal well throttle mechanism

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6Ж	Серебряков Дмитрий Игоревич		

Консультант отделения электроэнергетики и электротехники ИШЭ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Образцов К.В.			

Консультант – лингвист отделения ИЯ ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Соколова Э.Я.			

Introduction

Coal fields contain most of the world's coal resources, coal methane in particular. Its quantity is comparable to that of traditional gas fields. Therefore, such pools need to be studied as methane-coal pools. Concentration of methane in the coal can reach up to 98%. The role of such formations, as large sources and places of methane accumulation in the cortex, opens new opportunities to increase the extraction of hydrocarbon gases. Methane is a dangerous assist gas of coal. Thus becomes a valuable source, which is the object for development and associated production in wells of gas-bearing coal deposits in the process of complex exploitation.[1]

The Kuznetsk pool, as the largest storage, is one of the most studied, developed and promising energy complexes in Russia with great potential and the opportunity to realize methane production. For sure, we can say that Kuzbass is the largest cluster of coal methane in the world. The amount of coal in the pool is estimated at 733 billion tons on a depth of 1.9 km. The explored reserves (on a depth of 700 m), are 87 billion tons. The main available hydrocarbon methane amount in the Kuzbass (12 trillion m³ to a depth of 1.9 km) is associated with methane deposits in the seams, which makes it possible to talk about a promising for autonomous implementation by various mining methods in operating wells for the production of assist gas. The volume of methane in coal seams is about 14% of the world and about 6% of the usual gas deposits in Russia. The development of methane-coal pools for the purpose of large-scale methane extraction is determined by the geological model and tectonic features. The existing infrastructure in Kuzbass is favorable for activities in this field of methane extraction from coal seams.

The main technological factor that requires close monitoring during production is the constant pressure in the well. At the moment, the available methods of monitoring this parameter during the production imply the position of an operator. He is to maintain a certain pressure at the constant level. To automate

the process of maintaining pressure, schemes are developed with the use of a variable speed electric drive. This allows to automate this process with high accuracy. The aim of this work is to develop a system for automatically maintaining the methane-coal well pressure during production of natural gas. This system must provide the required value of this parameter when the well is operating for a long time. The novelty of the work lies in the technological process simulation.

1. Technological process

1.1 Overview of methods for regulating gas flow.

Gas fittings and equipment are designed for use on transportation pipelines and supply systems, as well as in gas distribution. With these devices and mechanisms, it is possible to turn on and turn off the flow, change the amount, direction or gas stream pressure. All fittings are characterized by the following main parameters:

- nominal (conditional) pressure;
- nominal diameter.

First characteristic represents the maximum pressure at a temperature of 20°C, which ensures the long life of armature (equipment) connections service and the pipeline itself. Nominal diameter represents the characteristic used in pipeline systems, networks as a connected parts parameter.

The valves for gas systems are divided into the following types:

- Stop valves - for periodic shutdown of equipment and instruments, as well as separate gas pipeline sections from other parts. In this category, valves and latches are used.
- Regulating valves– for changing and maintaining pressure due to the specified limits. They include flaps, slats, cellular, needle valves and so on.

- Safety valve is used to prevent the gas pressure from increasing beyond the permissible value. This valve is called relief.

- Shut-off and emergency valves serve for rapid automatic gas appliances shutdown. Devices, and pipelines, where the specified operation mode is violated. For example it can be a shut-off safety valve.

- Reverse action valve prevents the gas flow backwards.

With the help of control valves, one or more production process parameters are maintained in required limits. Regulation can be manual or automatic. With manual control, the valve opening degree is changed by the operator according to the measuring devices results. The parameters are maintained within the required limits by automatically controlling the valve provided with the actuators. The automatic control system consists of a control object and an automatic controller connected to it. The automatic controller consists of a measuring and regulating system. The measuring system includes: a primary element (float, thermocouple, membrane, etc.) recording device and the transfer link. The regulating system consists of a regulating device, an actuator and coupling connecting the regulating device and the actuator. The actuator in the armature is a throttling device provided with a drive which can be electric, electromagnetic, pneumatic, hydraulic, etc. Regulators could be discontinuous and continuous. In regulators of discontinuous operation, the regulating actuator moves periodically, at certain intervals of time, when certain regulated parameter values change continuously. In regulators of continuous operation, the regulating control moves continuously with a continuous change in the regulated parameter. In pipe systems, the control valves are the most frequently used as the regulating element. The control valves which are used at large pressure drops are called throttle valves. The control valve is a throttle device with an adjustable opening cross-section for passage of the gas. The control valve can be controlled by the direct action of the gas transported through the pipeline or from an external source of energy. In the control valves controlled by the action of the gas on the plunger, the position of the plunger will be determined by the ratio

of the forces transferred to the plunger on the drive side and the forces acting on the gas pressure directly on the plunger. Control valves like this operate automatically, do not require energy conversion, have their primary (sensitive) element and are direct-acting regulators. Direct action regulators also include regulators, designed to reduce the pressure, so called pressure reduction valves. Pressure regulators usually have a disk plunger and a small stroke. In these valves, the position of the plunger is fixed by the actuator acting from an external power source controlled by the sensing element and does not depend on the direction of transported gas pressure action through this conduit on the actuator and the plunger. This group includes control valves with pneumatic, hydraulic and electric drives, mixing valves and some others. Regulating valves can be used to solve a wide variety of automatic pressure regulation tasks, also flow, temperature, composition of the gas, etc., depending on the changes in various process parts or the machine working process. The control valves have a normally profiled plunger and a significant stroke. The regulator characteristic is decisive. It determines the relations between the regulator movement and the change in the regulated parameter, where all the elements associated with the regulating operator movement, when the regulated parameter is influenced. The regulation process is that, when the plunger is moved, a predetermined flow control characteristic is provided. The plunger moves in accordance with the signal receiving from the installed system device. This characteristic can be linear, equal percentage or special. The valve plunger movement relative to the passage provides the size of the hole that is used to adjust the flow from minimum to maximum. The main function of the control valve is to regulate the amount of flow. At the same time it must provide tightness when closing, but this is a secondary point. The acting force on the valve stem is created by the actuator, which is mounted directly on the valve. From the first designs of control valves in actuators, springs and membranes are used. Pneumatic, hydraulic, electrical or their combinations are currently used to position the plunger in the valve precisely.

1.2 Fittings types

1.2 Implementation and comparative analysis

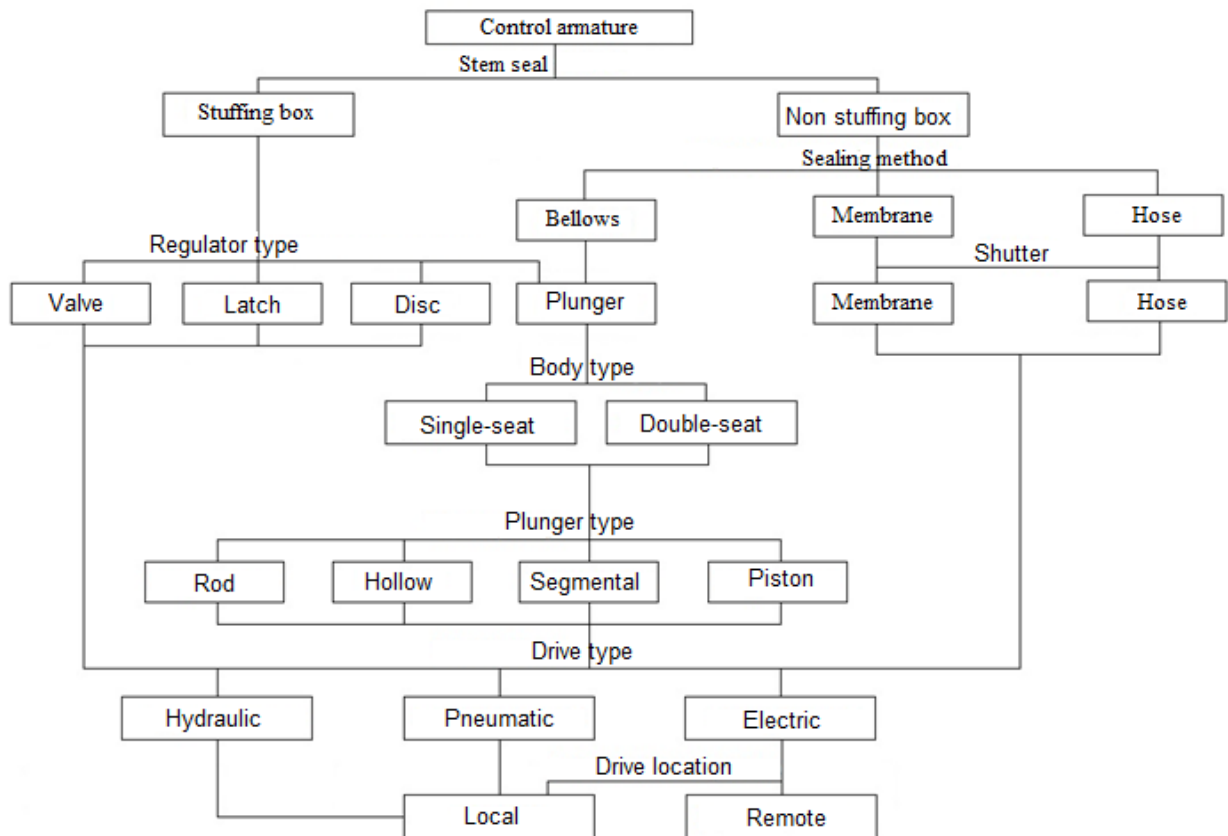


Figure B.1 - Control valves classification

This figure shows the classification of control valves, which reflects their main parts design features.

The first classification feature gives an idea of methods for sealing the stem, which allows to estimate the valve tightness level.

The second classification characteristic characterizes the types of the regulating (throttling) mechanism that determines the valve flow characteristic.

The third classification sign determines the valve body type associated with the plunger loading conditions, its tightness.

The fourth classification feature characterizes the plunger type that determines the way of controlling the flow of the gas.

The fifth and sixth classification characteristics indicate the drive type and its location.

To regulate the flow in pipelines we can use any scheme of gates operation (valve, gate valve, cock, damper, etc.). However, their performance characteristics are different, therefore the throttling device type is chosen depending on pressure, temperature, flow rate and other operating conditions. The operating control valves conditions are more complex than the operating conditions of the shut-off valves, and therefore the designs must be made with regard to the relevant requirements. The throttling device must provide the necessary dependence of the change in flow rate on the opening degree of valve. The drive must have sufficient sensitivity. In other words, the ability to operate with the smallest pressure changes on the actuator: gas pressure (for direct acting regulators) or reference pressure (for indirect regulators).

Valves are fittings used for quick connection or disconnection of instrument or pipeline, as well as regulating the flow of the gas through the pipeline. By designation, such devices are divided into shut-off, regulating, protective and safety ones.

Each type of device is designed to perform certain functions. For example, shut-off valves are designed to completely block the flow of media. It has the widest application and is usually about 80% of the total number of used products.

-The safety valve is designed to protect equipment and pipes from process variables inadmissible deviation by resetting excess gas. The most common type of safety devices is a spring safety valve. Also here are included impulse - safety valves, membrane fuses, bypass valves, etc.

-Protective fittings are designed to protect technological systems, mechanisms, pipelines and other equipment from the occurrence or consequences of emergency situations. According to its purpose, the protective armature is very close to safety: both types should prevent deviations from the normal technological

process and limit the consequences of such deviations, without giving rise to serious accidents. Their main difference is in principle of action. If the safety valve is opened providing a mass flow out and reducing the parameters of the system, then the protective one is closed, switching off the protected part of the system or unit of equipment.

-The control valves are designed to regulate the parameters of the working process. The parameters regulation concept includes regulating the gas flow rate, maintaining its pressure within specified limits, mixing them in certain proportions, maintaining a certain fluid level in tanks, and many others. The control valves perform all their functions by changing the flow rate of the gas through its cross-section. Structurally such devices are implemented by several of the following basic schemes:

-In one-seat and two-seat valves, a plunger is the movable element, which can be needle, rod or tray. The plunger moves perpendicular to the gas flow axis through the saddle, changing the cross-section. The most common are double-seat valves. Single-seat valves are used most often for small passage diameters due to their plunger. Also, the advantage of double-seat valves is that it is much easier to provide the required tightness for the shut-off valve.

- In cage valves the shutter is made in the form of a hollow cylinder that moves inside the cage, which is a guiding device and a saddle in the casing at the same time. In the cage there are radial holes. This allows to regulate the gas flow. Previously, these valves were called piston perforated. Cage valves, due to their design, can reduce noise, vibration and cavitation during valve operation.

-In valves of Membrane type, built-in or output membrane the pneumatic or hydraulic actuators are used. In the case of a built-in drive, the flow gas rate is directly changed due to the passage closing in the seat by a flexible membrane of rubber, PTFE or polyethylene, which is influenced by the control gas pressure. When the control gas pressure is released, the spring returns the membrane to its initial position. Membrane valves can be either single- or double-sided. Main advantage of such valves is the movable joint high tightness and the materials

corrosion resistance which makes it possible to provide good internal surfaces protection against the working gas effects that can be aggressive.

-In Spool devices the flow rate of the gas is controlled by turning the spool to required angle, unlike other valves with motion up and down of the rod or membrane. Such valves are used usually in power engineering.

1.3. Reasoning and selection of the throttle control method.

In our case gas makes possible to use a control of cage valve as a regulating mechanism. The perforated plunger is made in the form of a hollow cylinder with a large number of holes on the side surface and is used mainly for pure working gas with large pressure drops on the shut-off mechanism.

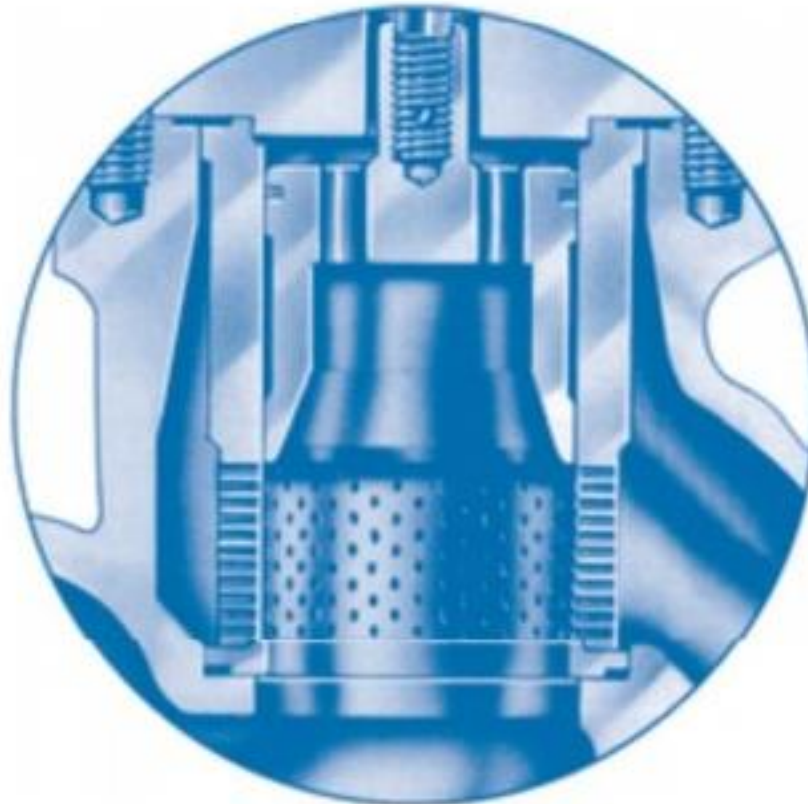


Figure B.2- Valve internal structure.

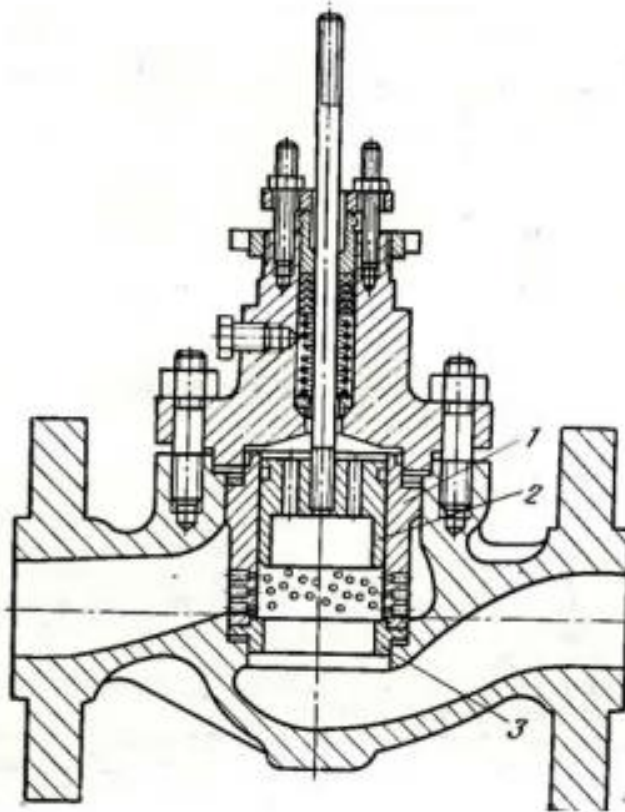


Figure B.3- Cage Regulating Valve

This figure shows a cage-type valve designed to regulate fluid and gas flows. The main parts of the valve are the cage 1, the gate 2 and the saddle 3. The cage contains a certain number of small holes, located in pairs diametrically opposite to each other. When the shutter 2 is moving, the number of pairs of these holes changes, so that the flow rate changes. It should be noted that the cylindrical holes in the cage have a stepped shape. The controlled gas travels most of the way through openings of a relatively large diameter. As the gas approaches the inner wall of the cell, the flow narrows and it is forced through a much smaller hole. The length of this hole is very small, that creates an effect similar to a nozzle with a sharp edge.

The cage control valve has the following advantages:

- The shutter area has a much larger surface than in the valves with just the upper and lower guide bushings;
- The valve does not contain internal connections;
- The valve plug is balanced so the valve can operate under significant gas pressure drops and be equipped with a low power motor;
- The valve withstands vibration well;
- Smooth gas flow control with a graduated scale.
- Regulating armature is made of corrosion-resistant materials;
- Hermetic shaft sealing without stopping the gas extraction process (pumping the sealing paste) ;
- The possibility to turn the adjustable throttle into a constant choke (changing the control mechanism to another) without removing the throttle body from the system;
- Quick-connect body-to-cap makes it easy to change the instrumentation;
- The pressure relief valve increases work safety.

1.4 The shut-off and control valves electric drive requirements

In order to ensure valve reliable and long-term operation the requirements are:

- The drive must provide a torque guaranteeing reliable valve operation, but it should not exceed the known limits;
- The required spindle rotation speed must be ensured;
- The design of the drive must provide for the presence of manual control for use in emergency conditions in the power failure;

- In addition to the direct control of the flywheel during manual control the gears are also used: cylindrical or conical, chain (to control the valves located in hard-to-reach places), worm (to increase the torque);

- The electromagnetic torque of the induction motor must be sufficient to ensure that the gate is sealed, and that the valve closure is guaranteed from the condensed state. This impact can be made by a single short-term impulse of a torque that does not allow the rod to move along the thread more than the distance at which the elastic deformation becomes plastic.

The torque regulation error and the torque discretization step setting is determined by the reference sheet data for the valve with the same seat for the electric drive. The torque range (for the tightening torque) is from 20 to 100% of the maximum torque for electric drives with a single seat. According to the reference sheet data analysis, the reference discretization and the regulation error is 1%.

The valve control is carried out by the locking or regulating body movement or rotation - wedge, plate, plunger, disk, etc. Opening and closing are performed either periodically, with significant time intervals, or only in cases of special need, which determines the drive operating mode as a short-term.

Pipelines of main and technological system are equipped by a large number of lanches, closing or opening of which must be carried out at the maximum permissible speed,. To avoid the occurrence of hydraulic shocks, the closure of small diameter valves ($D = 150 \text{ mm}$) should be fulfilled for a time $t = 30$ to 40 s , for large diameter valves ($D = 800 \text{ mm}$) - for a time of 140 to 200 s . Therefore, the closure of the valve should be made at a speed of $n = 4 - 5 \text{ mm / s}$.

Also, the work speed of the actuator may be constrained by the technological process.

Valve drive is considered to be energetically effective if it consumes minimum possible amount of energy during the technological cycle execution time. This can be achieved by reducing the cycle time and reducing the energy

consumed. One of the possible options for increasing energy efficiency is the regulation of the speed, which affects the amount of energy consumption.

A special feature of the valve drive is that most of the electric actuators run a considerable part of the cycle at no-load speed, since in the middle of the cycle only the torque of friction resistance in the nut-rod joint has to be overcome. Thus the small motor power is necessary to ensure the mechanism starting.

1.5 Reasoning of the control method of the drive

Using the vector control method not only harmonic currents (voltages) of phases are formed, but also the rotor magnetic flux is controlled. Vector control is applied when load changes at the same frequency. It does not have exact relations between the load torque and rotation speed, and in cases where it is necessary to obtain an extended frequency range at nominal torques. Vector control systems are divided into two classes: sensorless and with feedback. The speed range allows us to determine a particular method application. If the speed range does not exceed 1: 100, and the accuracy requirements are within $\pm 1.5\%$, then the sensorless control system is used. If the speed control is carried out within the range of 1: 10000 or more, and the accuracy level should be quite high ($\pm 0.2\%$ at a speed below 1 Hz), or it is necessary to measure the position of the shaft or control the torque on the shaft at low speeds, then a system is used that has speed feedback. Advantages of an induction motor vector control method:

- High accuracy controlling shaft speed, despite the possible lack of a speed sensor,
- Shaft rotation at low frequencies occurs smoothly without ripple,
- It is possible to reach the rated value of torque on the shaft even at zero speed when a speed sensor is installed,
- Possible load changes quick response - sudden jumps in loads practically do not affect the speed,

- High motor efficiency because of reduced losses due to the heating and magnetizing.

Despite such advantages this control method has a certain number of drawbacks - a great complexity of computations, it is necessary to know the motor parameters to operate it. The speed variation with a constant load is much greater than with the scalar control method. Today's frequency-variable induction electric drives use block-modular principle. It is implemented according to scalar and vector frequency control structures. The structure choice for implementation and the law of scalar control of the frequency-controlled induction electric drive for the purpose of a certain production mechanism is determined by the conditions for static and dynamic data of the electric drive. Also, the implementation of scalar control is simpler and cheaper than the vector one.

1.6 Block diagram of the power channel of the drive

The vector control system for an induction motor frequency control is based on the physical motor variables representation by vectors when both the magnitude and the position in space can be different.

The basis for the implementation of control systems for frequency-controlled induction electric drives with vector control is the block diagram of a two-phase induction motor.

The electric drive power channel includes:

- Frequency converter, performing an electrical converter function;
- Electric motor that performs an electromechanical converter function;
- Mechanical system that performs a mechanical converter function.

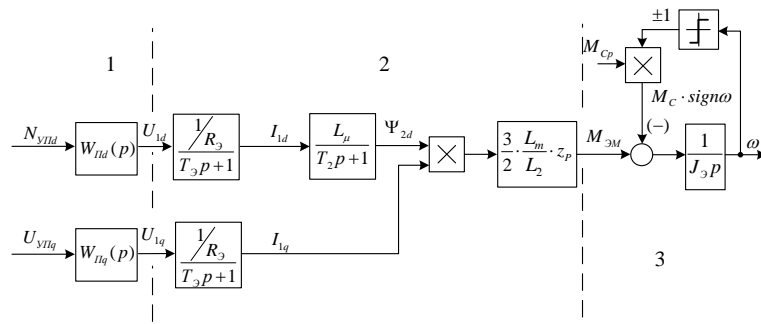


Figure B.4 – Block diagram of the power channel of the drive

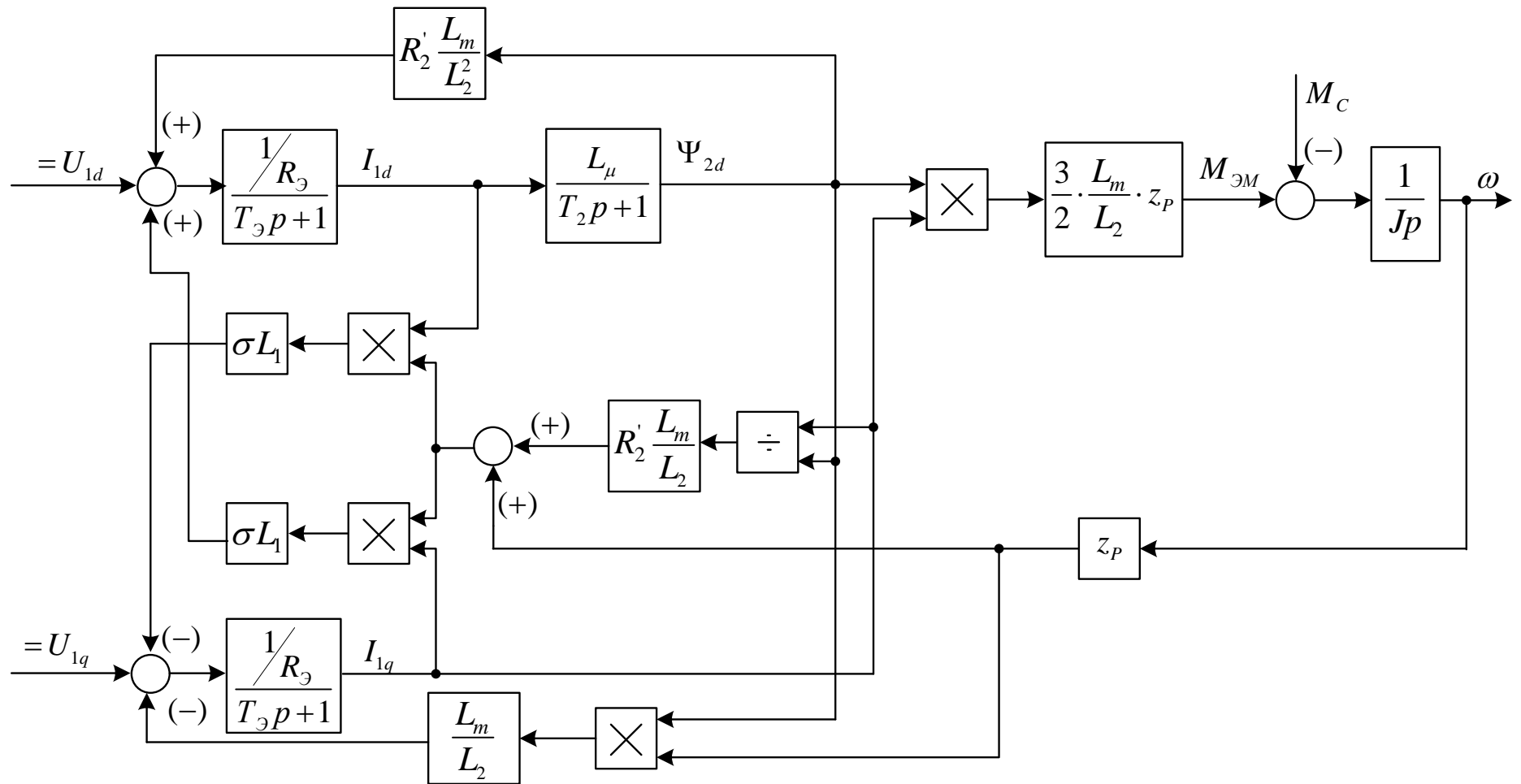


Figure B.5 - An induction motor block diagram with squirrel cage rotor.

2. Equipment selection for automatic control system

US-800 flowmeters relate to time-pulse sound flowmeters, their feature is based on measuring the difference in the times for the sound pulses passage vibration according to the water flow movement direction and against it. The pulses are excited by piezoelectric transducers installed in the pipeline measuring point. Depending on the installation of the PES relative to the flow section, the flow rate is measured according to the sound oscillations waves. The PESs act alternately in the receiver-emitter order. One is obtaining from another the ultrasonic pulses at an angle to the axis of the pipeline. Water movement causes a change in the absolute propagation time of ultrasonic signals along and across the flow.



Figure B.6- Flowmeter

ELECTRONIC UNIT is a device containing electronic units for forming and converting ultrasonic pulses, computing the flow, volume and output of information based on the measured propagation times of ultrasonic pulses. Structurally the electronic unit is a device enclosure made of plastic for wall mounting.

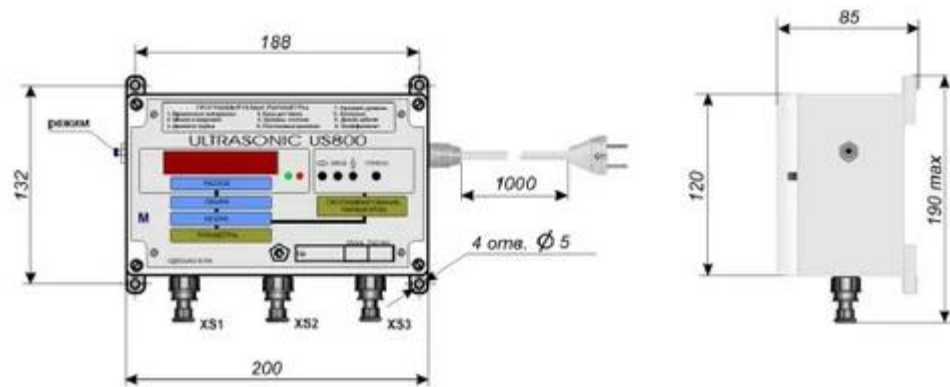


Figure B.7 - Instrument case

The front panel contains:

- four-buttons-functional keyboard;
- two separate LED indicators "normal-failure";
- nine-digit digital indicator.

The front panel is protected by a transparent cover, which is fastened by four screws to the housing through the seal.

On the left side of block casing there is a connector and a 220 V power cord with a length of not more than 1 m (if the case is of small dimensions, there is a connector on the left for connecting the power supply unit, power supply is in the kit).

On the right side of the block there is a mode operational button with indication.

At the bottom of the block are:

1x (single-channel single-beam) type:

- connector XS1, XS2 for the connection of sensors (from PES) using high-frequency cables;
- XS3 connector for inputs connection of other device and devices that receive analogue, frequency or digital signals.

ULTRASONIC FLOW TRANSFORMER (UFT) - a pipe section with installed sensors PES.

On a single-beam block, a pair of sensors is mounted, which are placed on the axis passing through the cross-section diameter. The section of a pipe made of stainless (or of carbon or acid-resisting) steel, to the ends of which two carbon steel (or stainless) flanges are welded in accordance with standard 12820-80, or threaded.

The holders in the middle zone of the tube are welded. Holders serve for the installation of sensors.

Sensors are installed with washers and are fixed in the holders with nuts.

Single-beam control systems, depending on the nominal passage diameter, are produced in the range DN 15-1400 mm (for piping diameters from 200 to 2000 mm, sets of PES holders can be supplied for mounting directly to the pipeline).

Two pairs of sensors are placed on the two-beam block arranged on the axes parallel to each other and passing through walls of equal cross section.

This device made at the factory on DN50 as a piece of pipe is made of stainless (or of carbon steel or acid-resisting) steel. To the ends of it two flanges are welded in accordance with standart 12820-80. The holders in the middle zone of the tube are welded. Holders serve for the installation of sensors.

Sensors are installed with washers and are fixed in the holders with nuts. Two-beam SRPs are produced in the range DN 50-1400 mm depending on the nominal passage diameters (for piping diameters from 200 to 2000 mm, sensors holders sets can be supplied for mounting directly to the pipeline).

The central device in the system is a programmable logic controller (PLC). The signals from the flow and pressure sensors are fed to the inputs of a programmable logic controller, which generates a control signal for the frequency converter. As a logical controller, a programmable logic controller OWEN PLC110 is used.

The pressure sensing switch DMP 333i (Fig. 7.B) has the following technical parameters:



Figure B.8 - Pressure sensor switch DMP 333i

Conclusion

During development of the automatic control system an optimal implementation scheme has been chosen with throttle installation at the wellhead, which allowed reducing the load on the equipment used and increasing its service life. A selection of modern equipment of Russian manufacturers has been made, which fully meets all the production requirements. The variable speed electric throttle drive implemented using the frequency inverter circuit with vector control method fully provides the requirements of the technological process. Based on the pressure maintenance simulation process simulated under Matlab software environment, a complete process cycle has been realized that showed that our system operates in an automatic mode and ensures a constant pressure in the well, even if the internal reservoir parameters are changed. Now we can state that the automated control system fully meets all the production process technology requirements.